FENXI HUAXUE SHOUCE

分析化学手册

（第一分册）

基础知识与安全知识

第二版

化学工业出版社

CHEMICAL INDUSTRY PRESS

分析化学手册

（第二版）

第一分册

基础知识与安全知识

杭州大学化学系分析化学教研室

化学工业出版社
·北　　京·

《分析化学手册（第二版）》编辑委员会

于德泉　中国医学科学院药物研究所
张玉奎　中国科学院大连应用化学研究所
刘振海　中国科学院长春应用化学研究所
丛浦珠　中国医学科学院药物研究所
彭图治　杭州大学
杨峻山　中国医学科学院药用植物研究所
柯以侃　北京化工大学
王国顺　杭州大学
任惠敏　化学工业出版社

第二版前言

分析化学是人们获得物质化学组成和结构信息的科学。由于多学科的交叉渗透，现代分析化学已发展成为一个庞大的学科体系，建立起了比较成熟的多种分析方法，包括色谱分析、电化学分析、光谱分析、波谱分析、质谱分析、化学分析、热分析、放射分析、生化分析等。它一方面在科学研究中起着至关重要的作用，极大地推动着其他学科的发展；另一方面还直接服务于国民经济和生产建设的需要。同时，当代科学技术和人类生产活动的飞速发展也向分析化学学科提出了严峻的挑战，并带来了前所未有的发展机会。

我国的分析化学学科在新中国建立以来，特别是改革开放以后，取得了长足的发展。到目前为止，在全国范围内已形成了一支以中国科学院和高等院校及各部委研究所为核心的分析化学科研队伍，和一个涉及生物、环境、材料、临床、医药、地质、冶金、石化、宇航、商检、法医、侦破和考古等领域的庞大分析检验队伍，共同构成了我国分析化学学科研究发展的源泉和推广应用的基地。在多年的发展过程中，无论是分析化学的基础理论，还是实际应用方面，都已形成了丰富的知识和经验的积累，需要进一步的总结和推广。

《分析化学手册》是一部比较全面的反映现代分析技术，供化学工作者使用的专业工具套书。手册第一版自 1979 年出版以来，在读者中形成了一定的影响，已成为许多分析化验室的必备图书。但由于受组稿时的历史条件所限，加上近 20 年来是世界和我国的科学技术，包括分析化学学科飞速发展的时期，原手册第一版在内容和编排上已不能全面反映当我国分析化学的发展现状。因此，根据广大读者的要求，我们组织了这套《分析化学手册》的修订工作。

在第一版原有 6 个分册的基础上，这次经扩充和修订为以下 10 个分册：

第一分册　基础知识与安全知识
第二分册　化学分析
第三分册　光谱分析
第四分册　电分析化学
第五分册　气相色谱分析
第六分册　液相色谱分析
第七分册　核磁共振波谱分析
第八分册　热分析
第九分册　质谱分析
第十分册　化学计量学

其中第一分册为基础内容，收集了分析工作中常用的基础数据，分析实验室的安全知识及分析数据的常规处理、计算机应用的基础知识。第十分册所涉及的

化学计量学是近些年来发展非常迅速的化学学科的一个分支，与分析化学有着特殊密切的关系，它应用数学和统计学的方法，并引入计算机科学的发展成果，其研究对象几乎涉及分析化学的所有过程，对于设计或选择最优的分析方法，解析大量的化学分析数据以最大限度地获取化学信息等具有普遍的指导意义，因此修订时增加这一部分内容。其他各分册均是按分析方法及所采用的主要仪器类型来划分，大体包括两方面的内容：基础原理、基础数据部分和实际应用部分。

本次修订，在内容上我们着重收录了基础性的理论和发展较为成熟的方法及应用，注意推陈出新，更新有关数据，增补各自领域近些年的新发展新成果，特别是计算机应用、多种分析手段联用技术的发展，以及分析技术应用于生命科学等的内容。

在编排方式上，进一步突出了手册的可查性。各册均编排主题词索引，与目录相互补充。手册中所涉及的名词术语统一采用国家自然科学名词审定委员会发布的标准，计量单位参照国家标准《GB 3100～3102—93·量和单位》的有关规定贯彻执行。其他凡有国家标准的也一律采用相关最新标准。

第二版的重编修订工作得到了我国分析化学界的大力支持，包括11位中国科学院院士在内的近30位知名专家、学者应邀担任了手册修订的编委会成员，全套书的修订出版凝聚着他们大量的心血和期望，在此谨向他们，以及在编写过程中曾给予我们热情支持与帮助的有关院校、科研单位及厂矿企业的专家和同行们，致以衷心的感谢。同时我们也真诚地期待着广大读者的热情关注和批评指正。

《分析化学手册》编委会

1996年6月

本分册修订说明

本书第二版的宗旨和结构基本与第一版相同。第一版出版至今已有16年，在这16年中，科学技术和生产技术有了巨大的进展。因此，有必要进行修订和充实。修订后的本分册内容分基础知识、安全知识和实验准备工作三部分。

新版本，从原来的二篇八章扩增到五篇二十章。书中：采用最新的国际原子量表，名称也改为国际相对原子质量表；对国际单位制（SI）做了系统的介绍，同时本书内容也按SI单位制进行了修改，其中有少数表格为保持原有数据的特性未做修订，但列出换算公式，读者可以方便地进行换算；很多表格虽然保持原有名称，由于新增内容使原来表格焕然一新。如列出了2000多种有机酸碱的离解常数，并把氨基酸的离解常数单独列出；温度计的校正中采用1990年国际温标（ITS-90）；原第二分册的“准备工作及试剂”修订后，新增各类分析试样的采集、保存与制备，作为本书的第二篇；“数据处理及分析中的误差”原来只是一节，现增加至六章，其中一章是微机处理分析测试数据的BASIC程序；新增加有关实验室标准化管理的基础知识一篇。此外各篇章中都列出数据表格的出处及有关参考文献。

本分册由杭州大学化学系分析化学教研室编，参加第一版编写工作的有周志瑞、吕荣山、朱有喻、王国顺、傅克庭、施清照等，本次修订工作分别由郭伟强（第一、五、十三、十四章）、吴东亮（第二章、第七章的第一至五节、第九章、第十章）、傅克庭（第三章、第四章的第一节、第六章、第七章的第一节）、王国顺（第四章的第三节、第八章、第十五至二十章）、施清照（第四章的第二节）承担。全部书稿由王国顺通阅及整序。中国科学院院士、长春应用化学研究所汪尔康教授审阅了全部书稿。清华大学邓勃教授审阅并修改了第五篇书稿。

本分册自初版面世以来得到了广大读者的热情关注，10多年来我们收到很多来自全国各地厂矿、科研单位及大专院校中分析化学工作者的电函及信件。这其中有宝贵的意见和要求，有热情的支持和鼓励。为了使新版本的内容更适应各方面读者的需要，我们曾于1994年10月在南京召开第五届分析化学年会期间广泛听取专家们的意见，并召开了座谈会。在本分册的修订过程中还得到了我国分析化学界著名专家：高鸿教授、高小霞教授、王夔教授、周同惠教授、汪尔康教授、俞汝勤教授、邓勃教授、王敬尊教授、邓家祺教授、陈洪渊教授等多位专家的指导与帮助。在此一并致以衷心地感谢。

在本次修订中，我们认真地考虑了各方面的意见和要求，竭尽所能，力求新版本以新的面貌回报读者，但由于知识面及水平有限，书中存在这样那样的缺点与不足乃至错误在所难免。我们诚恳地期望、热忱地期待着分析化学界的专家及广大读者的批评指正。

编者

1996年3月于杭州

目　　录

第一篇　基础知识

第二篇　准备工作及试剂

第三篇　安全知识

第五篇　分析测试数据的统计处理

表 目 录

第一篇 基础知识

第一章 分析化学中常用数据及表解

本章主要列出与分析化学有关的各种基本常数、数据及其相互间关系。

第一节 国际单位制（SI）及其相关单位间的换算

一、国际单位制

国际单位制（SI）是法语 Le Systeme International d' Unite's 的缩写，是从米制发展而成的一种计量单位制度，自 1960 年第 11 届国际计量大会定名并决议推广后，成为世界范围内的“法定计量单位”。根据第 10 届和第 14 届国际计量大会决定采用长度、质量、时间、电流强度、热力学温度、物质的量和发光强度的单位为基本单位。导出单位是由基本单位根据选定的联系相应量的代数式组合起来构成的单位。国际单位制的采用和推广涉及到计量制度的改革，已成为各国计量工作发展的共同趋势。到目前为止，世界上已有 80 多个国家宣布采用国际单位制，建议使用国际单位制的各种国际组织也有 20 多个。我国从 1963 年开始着手国际单位制的推行准备工作，1977 年国务院颁布《中华人民共和国计量管理条例》，规定我国逐步采用国际单位制；1981 年国务院批准了《中华人民共和国计量单位名称和符号方案（草案）》；1982 年国家标准总局陆续发布了以国际单位制为基础的 15 项国家标准；1984 年 2 月国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》；同年经国务院批准，国家计量局发布了《全面推行我国法定计量单位的意见》，提出从 1991 年 1 月起除个别特殊领域（如古籍与文学书籍、血压的 mmHg）外，不允许再使用非法定计量单位；1985 年 9 月 6 日六届人大常委会第十二次会议通过了《中华人民共和国计量法》，以法律形式规定了“国家采用国际单位制。国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位，为国家法定计量单位。……非国家法定计量单位应当废除”。《中华人民共和国计量法》自 1986 年 7 月 1 日起施行。

为此，我们对国际单位制的基本单位、国际单位制辅助单位、一些导出单位及它们之间的换算关系（参见表 1-7～表 1-28）列出。

表 1-1 国际单位制的基本单位

量	单位名称		符号	定义
	中文[①]	英文		
长度	米	meter	m	光在真空中于 1/299 792 458 秒时间间隔内所经路径的长度（1983 年第 17 届 CGPM 决议 A）
质量	千克（公斤）	kilogram	kg	保存在巴黎国际计量局的国际千克原器的质量（1901 年第 3 届 CGPM 声明）
时间	秒	second	s	1 秒相当于铯－133 原子基态的两个超精细能级间跃迁所对应的辐射的 9 192 631 770 个周期的持续时间（1967 年第 13 届 CGPM 决议 1）

续表

量	单位名称		符号	定义
	中文①	英文		
电流强度	安［培］	Ampere	A	在真空中相距1米的两根无限长而圆截面极小的平行直导线内通以等量恒定电流时，若导线间相互作用力为2×10^{-7}牛顿/米，则每根导线中的电流为1安培（1948年第9届CGPM决议2）
热力学温度	开［尔文］	Kelvin	K	水三相点热力学温度的1/273.16（1967年第13届CGPM决议4）
物质的量	摩［尔］	mole	mol	是一系统的物质的量，该系统中所含的基本单元（应注明原子、分子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合）数与0.012千克C-12的原子数目相等（1971年第14届CGPM决议3）
发光强度	坎［德拉］	candela	cd	是一光源在给定方向上的发光强度，该光源发出频率为540×10^{12}赫兹的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为1/683瓦特/球面度（1979年第16届ACGPM决议3）

① 方括号内的字是在不致混淆的情况下可以省略；圆括号内的字为前者的同义词，具有同等的使用地位。下同。

表1-2 国际单位制的辅助单位

量	单位名称	单位符号	定义
［平面］角	弧 度	rad	弧度是一圆内两条半径之间的平面角，这两条半径在圆周上所截取的弧长和半径相等。1弧度＝57.295 799 5°（度）
立体角	球面度	sr	球面度是一立体角，其顶点位于球心，而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积

表1-3 国际单位制中具有专门名称的SI导出单位

（共19个）

量	单位名称	符号	用其他SI单位表示的表示式	用SI基本单位表示的表示式
频率	赫［兹］	Hz		s^{-1}
力	牛［顿］	N		$m\cdot kg\cdot s^{-2}$
压力，压强，应力	帕［斯卡］	Pa	$N\cdot m^{-2}$	$m^{-1}\cdot kg\cdot s^{-2}$
能［量］，功，热量	焦［耳］	J	$N\cdot m$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$
功率，辐［射能］通量	瓦［特］	W	$J\cdot s^{-1}$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}$
电荷［量］	库［仑］	C		$A\cdot s$
电位，电压，电动势，（电势）	伏［特］	V	$W\cdot A^{-1}$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}\cdot A^{-1}$
电容	法［拉］	F	$C\cdot V^{-1}$	$m^{-2}\cdot kg^{-1}\cdot s^4\cdot A^2$
电阻	欧［姆］	Ω	$V\cdot A^{-1}$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-3}\cdot A^{-2}$
电导	西［门子］	S	$A\cdot V^{-1}$	$m^{-2}\cdot kg^{-1}\cdot s^3\cdot A^2$
磁通［量］	韦［伯］	Wb	$V\cdot s$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1}$
磁感应强度，磁通［量］密度	特［斯拉］	T	$Wb\cdot m^{-2}$	$kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-1}$
电感	亨［利］	H	$Wb\cdot A^{-1}$	$m^2\cdot kg\cdot s^{-2}\cdot A^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	C		K

续表

量	单位名称	符号	用其他SI单位表示的表示式	用SI基本单位表示的表示式
光通［量］	流［明］	lm		cd·sr
［光］照度	勒［克斯］	lx	$lm \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
［放射性］活度	贝可［勒尔］	Bq		s^{-1}
吸收剂量，比授［予］能，比释动能	戈［瑞］	Gy	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
剂量当量	希［沃特］	Sv	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$

表 1-4　用国际单位制基本单位表示的 SI 导出单位示例

量的名称	单位名称	单位符号	用SI基本单位的表示式
［动力］粘度	帕［斯卡］秒	Pa·s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力矩	牛［顿］米	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面张力	牛［顿］每米	$N \cdot m^{-1}$	$kg \cdot s^{-2}$
热流密度，辐［射］照度	瓦［特］每平方米	$W \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-3}$
热容，熵	焦［耳］每开［尔文］	$J \cdot K^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
比热容，比熵	焦［耳］每千克开［尔文］	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
比能	焦［耳］每千克	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
热导率	瓦［特］每米开［尔文］	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
能［量］密度	焦［耳］每立方米	$J \cdot m^{-3}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
电场强度	伏［特］每米	$V \cdot m^{-1}$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电荷［体］密度	库［仑］每立方米	$C \cdot m^{-3}$	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
电位移	库［仑］每平方米	$C \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
电容率（介电常数）	法［拉］每米	$F \cdot m^{-1}$	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
磁导率	亨［利］每米	$H \cdot m^{-1}$	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摩尔能［量］	焦［耳］每摩［尔］	$J \cdot mol^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
摩尔熵，摩尔热容	焦［耳］每摩［尔］开［尔文］	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
（X和γ射线的）照射量	库［仑］每千克	$C \cdot kg^{-1}$	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸收剂量率	戈［瑞］每秒	$Gy \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-3}$

表 1-5　用国际单位制辅助单位表示的 SI 导出单位示例

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
角速度	弧度每秒	$rad \cdot s^{-1}$	辐［射］强度	瓦［特］每球面度	$W \cdot sr^{-1}$
角加速度	弧度每二次方秒	$rad \cdot s^{-2}$	辐［射］亮度	瓦［特］每平方米球面度	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

表 1-6　与国际单位制单位并用的其他法定计量单位

根据我国的具体情况，我国为 11 个物理量选定了 16 个非国际单位制单位，这些单位使用十分广泛，废除它们将带来很大的不方便，为此，规定它们为我国的法定计量单位。

量	单位名称	符号	与SI单位的关系
时间	分	min	1 min=60s
	［小］时	h	1h=60 min=3 600s
	天，（日）	d	1d=24 h=86 400s
［平面］角	［角］秒	″	1″=（1/60）′=（π/648 000）rad
	［角］分	′	1′=（1/60）°=（π/10 800）rad
	度	°	1°=（π/180）rad

续表

量	单位名称	符号	与SI单位的关系
旋转速度	转每分	r/min	1 r/min=（1/60）s^{-1}
长　度	海里	n mile	1 n mile=1852m
速　度	节	kn	1 kn=1n mile h^{-1}=（1852/3600）m・s^{-1}
质　量	原子质量单位 吨	u t	1 u=1.660 540 2（10）$\times10^{-27}$kg 1 t=1 000kg
体积，容积	升	L，(l)	1 L=1 dm^3=$10^{-3}m^3$
能	电子伏	eV	leV=1.602 177 33（49）$\times10^{-19}$J
级差	分贝	dB	
线密度	特［克斯］	tex	1 tex=1 g・km^{-1}
面积	公顷	$hm^2$①	1 hm^2=10^4 m^2

① 公顷的国际通用符号为ha。

二、常用单位的换算

表1-7～表1-28中包括了各计量单位间的换算值，其中有许多是非法定计量单位，鉴于以前的许多文献和参考书上还都采用这些单位，故仍加以介绍供参考。

表1-7　长度单位的换算

单　位	m	cm	μm	ft	in	n mile	yd
米	1	10^2	10^6	3.28	39.37	5.4×10^{-4}	1.09361
厘　米	10^{-2}	1	10^4	3.28×10^{-2}	0.3937	5.4×10^{-6}	1.09361×10^{-2}
微　米	10^{-6}	10^{-4}	1	3.28×10^{-6}	3.937×10^{-5}	5.4×10^{-10}	1.09361×10^{-6}
英　尺	0.3048	30.48	3.048×10^5	1	12	1.65×10^{-4}	0.3333
英　寸	2.54×10^{-2}	2.54	2.54×10^4	8.33×10^{-2}	1	1.37×10^{-5}	0.02778
海　里	1.852×10^3	1.852×10^5	1.852×10^9	6.075×10^3	7.2907×10^4	1	2025
码	0.9144	91.44	9.144×10^5	3	36	4.938×10^{-4}	1

表1-8　面积单位的换算

单　位	m^2	cm^2	ha	ft^2	in^2
平方米	1	10^4	10^{-4}	10.76	1.55×10^3
平方厘米	10^{-4}	1	10^{-8}	1.076×10^{-3}	1.55×10^{-2}
公　顷	10^4	10^8		1.076×10^5	1.55×10^7
平方英尺①	9.29×10^{-2}	9.29×10^2	9.29×10^{-6}	1	1.44×10^2
平方英寸②	6.45×10^{-4}	6.45	6.45×10^{-8}	6.945×10^{-3}	1

①② 与SI单位换算的准确值是：1 in^2=645.16mm^2，1ft^2=0.092 903 04m^2。

表 1-9 体积单位的换算

单位	m^3	cm^3	L (dm^3)	ft^3	in^3	pt
立方米	1	10^6	10^3	35.3	6.1×10^4	1.7598×10^3
立方厘米	10^{-6}	1	10^{-3}	3.53×10^{-5}	6.1×10^{-2}	1.7598×10^{-3}
升(立方分米)	10^{-3}	10^3	1	3.53×10^{-2}	61	1.7598
立方英尺①	2.83×10^{-2}	2.83×10^4	28.3	1	1.73×10^3	49.8
立方英寸②	1.639×10^{-5}	16.39	1.639×10^{-2}	5.79×10^{-4}	1	2.88×10^{-2}
品脱(英)③	5.68×10^{-4}	5.68×10^2	0.568	2×10^{-2}	34.67	1

①②③ 与SI单位换算的准确值是：1 in^3=16.387 064cm^3，1 ft^3=28.316 85 dm^3，1 pt=0.568 261 25dm^3。

表 1-10 质量单位的换算

单位	kg	g	t	lb	oz
千克	1	10^3	10^{-3}	2.2046	35.274
克	10^{-3}	1	10^{-6}	2.2046×10^{-3}	3.5274×10^{-2}
吨	10^3	10^6	1	2.2046×10^3	3.5274×10^4
磅①	0.454	4.54×10^2	4.54×10^{-4}	1	16
盎司②	2.835×10^{-2}	28.35	2.835×10^{-5}	6.25×10^{-2}	1

①② 与SI单位换算的准确值是：1 lb=0.453 592 37 kg，1 oz=28.349 52 g。

表 1-11 密度单位的换算

单位	$kg\cdot m^{-3}$	$t\cdot m^{-3}$	$kg\cdot dm^{-3}$	$g\cdot cm^{-3}$	$lb\cdot ft^3$	$lb\cdot in^{-3}$
千克每立方米	1	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	62.4×10^{-3}	36.13×10^{-6}
吨每立方米	10^3	1	1	1	62.4	36.13×10^{-3}
千克每立方分米	10^3	1	1	1	62.4	36.13×10^{-3}
克每立方厘米	10^3	1	1	1	62.4	36.13×10^{-3}
磅每立方英尺	16.02①	16.02×10^{-3}	16.02×10^{-3}	16.02×10^{-3}	1	578.7×10^{-6}
磅每立方英寸	27.7×10^3	27.7	27.7	27.7	1728	1

① 与SI单位换算的准确值是：1 $lb\cdot ft^{-3}$=16.018 46$kg\cdot m^{-3}$。

表 1-12 比容(比体积)单位的换算

单位	$m^3\cdot kg^{-1}$	$m^3\cdot t^{-1}$	$dm^3\cdot kg^{-1}$	$cm^3\cdot g^{-1}$	$ft^3\cdot lb^{-1}$	$in^3\cdot lb^{-1}$
立方米每千克	1	10^3	10^3	10^3	16.02	27.7×10^3
立方米每吨	10^{-3}	1	1	1	16.02×10^{-3}	27.7
立方分米每千克	10^{-3}	1	1	1	16.02×10^{-3}	27.7
立方厘米每克	10^{-3}	1	1	1	16.02×10^{-3}	27.7
立方英尺每磅	62.4×10^{-3}	62.4	62.4	62.4	1	1728
立方英寸每磅	36.13×10^{-6}	36.13×10^{-3}	36.13×10^{-2}	36.13×10^{-3}	578.7×10^{-6}	1

表 1-13 运动粘度单位的换算

单位	$m^2\cdot s^{-1}$	St	cSt	$m^2\cdot h^{-1}$	$ft^2\cdot s^{-1}$	$ft^2\cdot h^{-1}$
二次方米每秒	1	10^4	10^6	3600	10.76	38.75×10^3
斯托克斯	10^{-4}	1	100	0.36	1.076×10^{-3}	3.875
厘斯托克斯	10^{-6}	0.01	1	3.6×10^{-3}	1.076×10^{-5}	3.875×10^{-2}
二次方米每小时	2.778×10^{-4}	2.778	277.8	1	2.99×10^{-3}	10.76
二次方英尺每秒	9.29×10^{-2}①	929	9.29×10^4	334.5	1	3600
二次方英尺每小时	2.58×10^{-5}	0.258	25.8	9.29×10^{-2}	2.78×10^{-4}	1

① 与SI单位换算的准确值为：1 $ft^2\cdot s^{-1}$=9.290 304$\times10^{-2}m^2\cdot s^{-1}$。

表 1-14 动力粘度单位的换算

单位	$Pa \cdot s$	P	$kgf \cdot s \cdot m^{-2}$	$lbf \cdot s \cdot ft^{-2}$
帕斯卡秒	1	10	0.102	2.09×10^{-2}
泊	0.1	1	1.02×10^{-2}	2.09×10^{-6}
千克力秒每平方米	9.81	98.1	1	0.205
磅力秒每平方英尺	47.88	478.8	4.88	1

表 1-15 力单位的换算

单位	N	dyn	kgf	tf	lbf
牛顿	1	10^5	0.102	1.02×10^{-4}	0.2248
达因	10^{-5}	1	1.02×10^{-6}	1.02×10^{-9}	2.248×10^{-6}
千克力	9.80665	9.80665×10^5	1	10^{-3}	2.2046
吨力	9.8067×10^3	9.8067×10^8	10^3	1	2.2046×10^3
磅力	4.448	4.448×10^5	0.454	4.54×10^{-4}	1

表 1-16 压力、应力单位的换算

单位	Pa	bar	mmH_2O	mmHg	$dyn \cdot cm^{-2}$	$kgf \cdot cm^{-2}$	$lbf \cdot in^{-2}$	atm
帕斯卡	1	10^{-5}	0.102	7.5024×10^{-3}	10	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-4}	98692×10^{-6}
巴	10^5	1	1.02×10^4	7.5024×10^2	10^6	1.02	14.5	0.98692
毫米水柱	9.8067	9.8067×10^{-5}	1	7.35×10^{-2}	98.1	10^{-4}	1.422×10^{-3}	9.69×10^{-5}
毫米汞柱	1.33×10^2	1.33×10^{-3}	13.6	1	1.33×10^3	1.36×10^{-3}	1.934×10^{-2}	1.316×10^{-3}
达因每平方厘米	0.1	10^{-6}	1.02×10^{-2}	7.50×10^{-4}	1	1.02×10^{-6}	14.5×10^{-5}	9.86×10^{-7}
千克力每平方厘米	9.80665×10^4	0.980665	10^4	7.35×10^2	9.81×10^5	1	14.223	0.9685
磅力每平方英寸	6.8948×10^6	6.894×10^{-2}	7.0307×10^2	52.2	6.89×10^4	7.0307×10^{-2}	1	6.806×10^{-2}
标准大气压	1.01325×10^5	1.01325	1.0335×10^4	760	1.01325×10^6	1.0335	14.69	1

表 1-17 功、能量、热量单位的换算

单位	J	erg	$kgf \cdot m$	cal	kcal	$kW \cdot h$	$ft \cdot lbf$
焦耳	1	10^7	0.102	0.239	2.39×10^{-4}	2.78×10^{-7}	0.7376
尔格	10^{-7}	1	1.02×10^{-8}	2.39×10^{-8}	2.39×10^{-11}	2.78×10^{-14}	7.376×10^{-8}
千克力米	9.806 65	$9.806\ 65\times10^7$	1	2.343	2.343×10^{-3}	2.72×10^{-6}	7.233
卡路里	4.1868	4.1868×10^7	0.426 86	1	10^{-3}	1.16×10^6	3.088
千卡路里	4.1868×10^3	4.1868×10^{10}	4.2686×10^2	10^3	1	1.16×10^{-3}	3.088×10^3
千瓦小时	3.6×10^6	3.6×10^{13}	3.67×10^5	8.6×10^5	8.6×10^2	1	2.653×10^6
英尺磅力	1.356	1.356×10^7	0.138	0.325	3.25×10^{-4}	3.76×10^2	1

表 1-18 功率单位的换算

单　　位	W	$erg \cdot s^{-1}$	$kgf \cdot m \cdot s^{-1}$	$cal \cdot s^{-1}$	$ft \cdot lbf \cdot s^{-1}$	ch	hp
瓦　特	1	10^{7}	0.102	0.239	0.7376	1.36×10^{-3}	1.3410×10^{-3}
尔格每秒	10^{-7}	1	1.02×10^{-8}	2.39×10^{-8}	7.376×10^{-8}	1.36×10^{-10}	1.3410×10^{-10}
千克力米每秒	9.8067	9.8067×10^{7}	1	2.343	7.233	1.33×10^{-2}	1.2905×10^{-2}
卡每秒	4.1868	4.1868×10^{7}	0.427	1	3.088	5.69×10^{-3}	5.611×10^{-3}
英尺磅力每秒	1.35582	1.3558×10^{7}	0.13825	0.3246	1	1.84×10^{-3}	1.8182×10^{-3}
米制马力①	735.5	7.355×10^{9}	75	175.5	542.4765	1	0.986320
英制马力	745.6999	7.457×10^{9}	77.489	178.22	550	1.01387	1

① 与 SI 单位换算的准确值为：1 米制马力＝735.498 75W＝$75kgf \cdot m \cdot s^{-1}$。

表 1-19 体积流量单位的换算

单　　位	$m^3 \cdot s^{-1}$	$L \cdot s^{-1}$	$L \cdot min^{-1}$	$m^3 \cdot h^{-1}$	$L \cdot h^{-1}$	$cm^3 \cdot s^{-1}$	$ft^3 \cdot s^{-1}$	$in^3 \cdot s^{-1}$
立方米每秒	1	10^{3}	6×10^{4}	3.6×10^{6}	3.6×10^{6}	10^{6}	35.3	6.1×10^{4}
升每秒	10^{-3}	1	60	3.6	3.6×10^{3}	10^{3}	3.53×10^{-2}	61
升每分	1.67×10^{-5}	1.67×10^{-2}	1	6×10^{-2}	60	16.7	5.89×10^{-4}	1.02
立方米每小时	2.78×10^{-4}	0.278	16.7	1	10^{3}	2.78×10^{2}	9.8×10^{-3}	16.9
升每小时	2.78×10^{-7}	2.78×10^{-4}	1.67×10^{-2}	10^{-3}	1	0.278	9.8×10^{-6}	1.69×10^{-2}
立方厘米每秒	10^{-6}	10^{-3}	6×10^{-2}	3.6×10^{-3}	3.6	1	3.53×10^{-5}	6.1×10^{-2}
立方英尺每秒	2.83×10^{-2}	28.3	1.7×10^{3}	1.02×10^{2}	1.02×10^{5}	2.83×10^{4}	1	1.728×10^{3}
立方英寸每秒	1.64×10^{-5}	1.64×10^{-4}	0.984	5.9×10^{-2}	59	16.4	5.8×10^{-4}	1

表 1-20 电量单位的换算

单　　位	C	sC	aC
库仑	1	3×10^{9}	0.1
静电系电荷单位	3.34×10^{-10}①	1	3.34×10^{-11}
电磁系电荷单位	10	3×10^{10}	1

① 准确值为：$3.335\ 64\times10^{-10}C$。

表 1-21 电场强度单位的换算

单　　位	$V \cdot m^{-1}$	$V \cdot cm^{-1}$	$sV \cdot cm^{-1}$	$aV \cdot cm^{-1}$
伏特每米	1	10^{-2}	3.34×10^{-5}	10^{8}
伏特每厘米	10^{2}	1	3.34×10^{-3}	10^{8}
静电系单位	3×10^{4}	3×10^{2}	1	3.34×10^{-11}
电磁系单位	10^{-6}	10^{-8}	3×10^{10}	1

表 1-22 热量单位的换算

单　　位	J	cal_{IT}	cal_{15}	cal_{th}	Btu
焦　耳	1	0.238 846	0.238 920	0.239 006	9.4781×10^{-4}
国际蒸气表卡	4.1868	1	1.000 31	1.000 67	$3.968\ 29\times10^{-3}$
15℃卡路里	4.1855	0.999 69	1	1.000 36	$3.967\ 06\times10^{-3}$
热化学卡	4.1840	0.999 33	0.999 64	1	$3.965\ 64\times10^{-3}$
英制热量单位	1055.06	251.997	252.075	252.075	1

表 1-23 比热容单位的换算

单　　位	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$erg \cdot g^{-1} \cdot ℃^{-1}$	$kcal \cdot kg^{-1} \cdot ℃^{-1}$	$cal \cdot g^{-1} \cdot ℃^{-1}$	$Btu \cdot lb^{-1} \cdot °F^{-1}$
焦耳每千克开尔文	1	10^{4}	2.39×10^{-4}	2.39×10^{-4}	2.39×10^{-4}
尔格每克摄氏度	10^{-4}	1	2.39×10^{-8}	2.39×10^{-8}	2.39×10^{-8}
千卡每千克摄氏度	4.187×10^{3}	4.187×10^{7}	1	1	1
卡每克摄氏度	4.187×10^{3}	4.187×10^{7}	1	1	1
英制热量单位每磅华氏度	4.187×10^{3}	1.187×10^{7}	1	1	1

表 1-24　传热系数单位的换算

单　　位	$W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$	$erg\cdot s^{-1}\cdot cm^{-2}\cdot ℃^{-1}$	$kcal\cdot h^{-1}\cdot m^{-2}\cdot ℃^{-1}$	$cal\cdot s^{-1}\cdot cm^{-2}\cdot ℃^{-1}$	$Btu\cdot h^{-1}\cdot ft^{-2}\cdot °F^{-1}$
瓦特每平方米开尔文	1	10^3	0.86	2.39×10^{-5}	0.176
尔格每秒平方厘米摄氏度	10^{-3}	1	8.6×10^{-4}	2.39×10^{-8}	1.76×10^{-4}
千卡每小时平方米摄氏度	1.16	1.16×10^3	1	2.78×10^{-5}	0.205
卡每秒平方厘米摄氏度	4.187×10^4	4.187×10^7	3.6×10^4	1	7.37×10^3
英热单位每小时平方英尺华氏度①	5.68	5.68×10^3	4.89	1.356×10^{-4}	1

① 与 SI 单位换算的准确值为：$1Btu\cdot h^{-1}\cdot ft^{-2}\cdot °F^{-1}=5.678\,26W\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$。

表 1-25　导热系数单位的换算

单　　位	$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	$erg\cdot s^{-1}\cdot cm^{-1}\cdot ℃^{-1}$	$kcal\cdot h^{-1}\cdot m^{-1}\cdot ℃^{-1}$	$cal\cdot s^{-1}\cdot cm^{-1}\cdot ℃^{-1}$	$Btu\cdot h^{-1}\cdot ft^{-1}\cdot °F^{-1}$
瓦特每米开尔文	1	10^5	0.86	2.39×10^{-3}	0.578
尔格每秒厘米摄氏度	10^{-5}	1	8.6×10^{-6}	2.39×10^{-8}	5.78×10^{-6}
千卡每小时米摄氏度	1.163	1.163×10^5	1	2.78×10^{-3}	0.672
卡每秒厘米摄氏度	4.187×10^2	4.187×10^7	3.6×10^2	1	242
英热单位每小时英尺华氏度	1.73	1.73×10^5	1.488	4.13×10^{-3}	1

表 1-26　不同温标间温度进行单位换算的数值方程

量的名称	符　号	单位名称	符号	数值方程
热力学温度 thermodynamic temperature	T	开[尔文] kelvin	K	$\frac{T}{K}=\frac{t}{℃}+273.15=\frac{5}{9}\frac{T_R}{°R}=\frac{5}{9}\left(\frac{t_F}{°F}+459.67\right)=\frac{5}{4}\frac{t_{Ré}}{°Ré}+273.15$
摄氏温度 Celsius temperature	t	摄氏度 degree Celsius	℃	$\frac{t}{℃}=\frac{T}{K}-273.15=\frac{5}{9}\left(\frac{T_R}{°R}-491.67\right)=\frac{5}{9}\left(\frac{t_F}{°F}-32\right)=\frac{5}{4}\frac{t_{Ré}}{°Ré}$
兰氏温度 Rankine temperature	T_R	兰氏度 degree Rankine	°R	$\frac{T_R}{°R}=\frac{9}{5}\frac{T}{K}=\frac{9}{5}\frac{t}{℃}+491.67=\frac{t_F}{°F}+459.67=\frac{9}{4}\frac{t_{Ré}}{°Ré}+491.67$
华氏温度 Fahrenheit temperature	t_F	华氏度 degree Fahrenheit	°F	$\frac{t_F}{°F}=\frac{9}{5}\frac{T}{K}-459.67=\frac{9}{5}\frac{t}{℃}+32=\frac{T_R}{°R}-459.67=\frac{9}{4}\frac{t_{Ré}}{°Ré}+32$
雷氏温度 Réaumur temperature	$t_{Ré}$	雷氏度 degree Réaumur	°Ré	$\frac{t_{Ré}}{°Ré}=\frac{4}{5}\left(\frac{T}{K}-273.15\right)=\frac{4}{5}\frac{t}{℃}=\frac{4}{9}\left(\frac{T_R}{°R}-491.67\right)=\frac{4}{9}\left(\frac{t_F}{°F}-32\right)$

注：1. 对温度间隔或温差进行单位换算时，应采用的单位方程为：$1°F=1°R=\frac{5}{9}℃=\frac{5}{9}K=\frac{4}{9}°Ré$。

2. 兰氏温度和热力学温度的测量起点相同（即兰氏温度 T_R 等于 0°R，而热力学温度 T 等于 0K），故兰氏温度的温度间隔或温差与热力学温度的温度间隔或温差进行单位换算时，也可采用数值方程，其数值方程为：$\Delta T/K=\frac{5}{9}\Delta T_R/°R$

表 1-27 不同温标的绝对零点、水冰点、水三相点及水沸点

温 度 点	T/K	$t/℃$	$t_{Ré}$/°Ré	t_F/°F	T_R/°R
绝对零点	0	−273.15	−218.52	−459.67	0
水冰点	273.15	0	0	32	491.688
水三相点	273.16	0.01	0.008	32.0183	491.682
水沸点	373.15	100	80	212	671.67

表 1-28 其他单位（电离辐射、光学、声学）间的换算

电离辐射单位			光学单位			声学单位		
被换算单位	换算后单位①	换算系数	被换算单位	换算后单位①	换算系数	被换算单位	换算后单位①	换算系数
伦琴（R）	$C \cdot kg^{-1}$	2.58×10^{-4}	坎〔德拉〕球面度（cd・sr）	lm	1	声欧姆（$dyn \cdot s \cdot cm^{-5}$）	$Pa \cdot s \cdot m^{-3}$	10^5
拉德（rad）	Gy（$J \cdot kg^{-1}$）	0.01	熙提（sb）	$cd \cdot m^{-2}$	10^4	力欧姆（$dyn \cdot s \cdot cm^{-1}$）	$N \cdot s \cdot m^{-1}$	10^{-3}
伦琴每秒（$R \cdot s^{-1}$）	$A \cdot kg^{-1}$	2.58×10^{-4}	尼特（nt）	$cd \cdot m^{-2}$	1	奈培（Np）	dB	8.68
居里（Ci）	Bq（s^{-1}）	3.70×10^{10}		sb*	10^{-4}	达因每平方厘米（$dyn \cdot cm^{-2}$）	Pa（$N \cdot m^{-2}$） bar*	0.1 10^{-6}
卢瑟福（Rd） （Rd）	Bq（s^{-1}） ci*	10^6 2.7207×10^{-5}	英尺烛光（$lm \cdot ft^{-2}$, fc）	lx（$lm \cdot m^{-2}$）	10.76	达因每秒（$dyn \cdot s^{-1}$）	W	10^{-7}
雷姆（rem）	Sv（$J \cdot kg^{-1}$）	0.01	辐透（ph）	lx（$lm \cdot m^{-2}$）	10^4	森特（cent）	倍频程（oct）	8.333×10^{-4}

① 括号中的标注为该单位以 SI 基本单位和 SI 导出单位表示的形式，二者是等价的。

单位后加注*表示该单位为非法定单位，仅作为换算关系列出供参考。

第二节 分析工作中常用的符号及缩写字

表 1-29 希腊字母

大写	小写	英 文	汉语译音	大写	小写	英 文	汉语译音
Α	α	Alpha	阿尔法	Ν	ν	Nu	纽
Β	β	Beta	贝塔	Ξ	ξ	Xi	克西
Γ	γ	Gamma	伽马	Ο	ο	Omicron	奥米克龙
Δ	δ	Delta	德耳他	Π	π	Pi	派
Ε	ε	Epsilon	艾普西隆	Ρ	ρ	Rho	洛
Ζ	ζ	Zeta	截塔	Σ	σ	Sigma	西格马
Η	η	Eta	艾塔	Τ	τ	Tau	套乌
Θ	θ	Theta	西塔	Υ	υ	Upsilon	宇普西隆
Ι	ι	Iota	约塔	Φ	φ	Phi	斐
Κ	κ	Kappa	卡帕	Χ	χ	Chi	喜
Λ	λ	Lambda	兰姆达	Ψ	ψ	Psi	普西
Μ	μ	Mu	米尤	Ω	ω	Omega	奥米伽

表 1-30 英文数字词头

数字	英文词头	数字	英文词头	数字	英文词头	数字	英文词头
1/2	Hemi-	6	Hexa-	13	Trideca-	20	Eicosa-
1	Mono-	7	Hepta-	14	Tetradeca-	21	Henicosa-
$1\frac{1}{2}$	Sesqui-	8	Octa-	15	Pentadeca-	30	Triconta-
2	Di-或 Bi-	9	Nona-	16	Hexadeca-	40	Tetraconta-
3	Tri-	10	Deca-	17	Heptadeca-	50	Pebtaconta-
4	Tetra-	11	Undeca-	18	Octadeca-	60	Hexaconta
5	Penta-	12	Dodeca	19	Nonadeca-		

表 1-31 SI 词头

词头		所表示的因数	国际缩写符号	词头		所表示的因数	国际缩写符号
中文	原名			中文	原名		
幺［科托］	yoctvo	10^{-24}	y	十	deca	10^{1}	da
仄［普托］	zepoto	10^{-21}	z	百	hecto	10^{2}	h
阿［托］	atto	10^{-18}	a	千	kilo	10^{3}	k
飞［母托］	femto	10^{-15}	f	兆	mega	10^{8}	M
皮［可］	pico	10^{-12}	p	吉［咖］	giga	10^{9}	G
纳［诺］	nano	10^{-9}	n	太［拉］	tera	10^{12}	T
微	micro	10^{-8}	μ	拍［它］	peta	10^{15}	P
毫	milli	10^{-3}	m	艾［可萨］	exa	10^{18}	E
厘	centi	10^{-2}	c	泽［它］	zetta	10^{21}	Z
分	deci	10^{-1}	d	尧［它］	yotta	10^{24}	Y

表 1-32 一些物理化学量的符号及说明

本表主要是包括描述各种物质的基本物理量，其中有些（有＊者）参见表 1-34。而对一些分析手段中用以描述性能或体系特征的数值则在以后各册的相关分析方法中再说明。表中的非法定计量单位和部分量的表示方法，鉴于历史的原因，有不少在我国仍得到较大的应用，而且以往的许多文献是采用这些单位和量的，也不可能一下子就完全取消，需要有一个过渡时期，故本表仍将它们列在其中，只是将它们用★注明。

1．关于原子、分子的量及化学反应

量	符号	简要说明
阿佛伽德罗数＊	N_A	1mol 的物质所含的基本单元数。$N_A=6.022\ 136\ 7\times10^{23}mol^{-1}$
波尔兹曼常数＊	k	按个别分子表示的气体常数。$k=1.380\ 658\times10^{-23}J\cdot K^{-1}$
电子电荷＊	e	$e=1.602\ 177\ 33\times10^{-19}C$
电子质量＊	m_e	$m_e=9.109\ 389\ 7\times10^{-31}kg$
电子荷质比＊	e/m_e	电子电荷对于电子质量的比。$e/m_e=1.758\ 804\ 7\times10^{11}C\cdot kg^{-1}$
中子质量＊	m_n	$m_n=1.674\ 928\ 6\times10^{-27}kg=1.008\ 664\ 89\ u$
质子质量＊	m_p	$m_p=1.672\ 623\ 1\times10^{-27}kg=1.007\ 276\ 48\ u$
原子质量常量＊	m_u	碳-12 原子质量的十二分之一。$m_u=1u=1.660\ 540\ 2\times10^{-27}kg$
相对原子质量	$Ar(E)$	具有天然核素组成的一种元素的一个原子的平均质量对核素 C-12 一个原子的质量的 1/12 的比值
原子质量＊	m_a	某指定核素的中性原子处于基态的静止质量
平衡常数	K	可逆反应的平衡常数。对 $mA+nB\rightleftharpoons pC+qD$ 则 $K=[C]^p[D]^q/[A]^m[B]^n$
酸的离解常数	K_a	对弱酸 $HA\rightleftharpoons H^++A^-$ 的离解常数 $K_a=[H^+][A^-]/[HA]$ 对弱碱的共轭酸 $BH^+\rightleftharpoons B+H^+$ 的离解常数 $K_a=[B][H^+]/[BH^+]$

续表

量	符 号	简 要 说 明
碱的离解常数	K_b	对弱碱 $B+H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$ 的离解常数 $K_b=[BH^+][OH^-]/[B]$ 或 $BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-$ 的离解常数 $K_b=[B^+][OH^-]/[BOH]$
水的离子积	K_w	$K_w=a_{H^+} \cdot a_{OH^-}$
溶度积	K_{sp}	在难溶强电解质的饱和溶液中，有关离子浓度的一定幂的乘积，它在一定温度下是一个常数，称为溶度积
质量摩尔浓度	m	溶质的物质的量除以溶剂的质量
物质的量浓度，摩尔浓度★	c	溶质的物质的量除以混合物的体积
摩尔分数	x	溶质的物质的量与溶液(溶质加溶剂)物质的量之比

2. 电分析化学

量	符 号	简 要 说 明
法拉弟常数	F	电化学中常用的一种电量单位。$F=9.648\ 530\ 9\times10^4 C \cdot mol^{-1}$
离子电荷	z	某种离子的电荷数
离子强度	I，μ★	存在于溶液中的每种离子的质量摩尔浓度(m_i)乘以该离子的电荷数(z_i)的平方所得诸项之和的一半。 $I=\Sigma m_i z_i^2/2$
电导率(比电导★)	κ	长 1cm，截面积 $1cm^2$ 导体的电导
摩尔电导率	Λ_m	电导率除以物质的量浓度。$\Lambda_m=\kappa/c$
迁移数	$t_+ t_-$	某一种离子迁移的电量与通过溶液的总电量之比
阳极电流	i_a	总的净电流的阳极组分，一般指定为负值
阴极电流	i_c	总的净电流的阴极组分，一般指定为正值
扩散电流	i_d	仅由扩散速度所控制，在极度浓差极化条件下所得的与电位无关的电流
极限电流	i_l	仅由传质(通常包括搅拌)速度所控制的，在极度浓差极化条件下所得的与电位无关的电流
残余电流	i_r	单独由于支持电介质产生的电流
半波电位	$E_{1/2}$	当电流等于扩散电流的一半时指示电极的电位，如没有指出其他参考电极时常指饱和甘汞电极
电极电位	E	指示电极或工作电极的电位，常指对标准氢电极
标准电位	E_0	半反应的标准电位，常指对标准氢电极
半中和电位	HNP	在非水溶剂中酸或碱的半中和电位。在电位滴定曲线上相当于到达等计量点所需的强碱或酸溶液的一半体积时，玻璃指示电极与饱和甘汞参考电极之间的电位差
	△HNP	对所测的酸(或碱)与标准酸(或碱)在相同情况下 HNP 值的差
式量电位	E'_o	在特定条件下氧化态与还原态的浓度比为 1 时的实际电位

3. 光分析化学

量	符 号	简 要 说 明
频率	ν，f	周期除以时间
普朗克常数*	h	$h=6.626\ 075\ 5\times10^{-34} J \cdot s$
光量子		基本粒子的一种，是辐射能的最小单位；稳定，不带电，静止质量等于零。其能量表示为 $E=h\nu$；动量表示为 $P=h/\lambda$
光速*	c	真空中光速 $c=299\ 792\ 458 m \cdot s^{-1}$
波长	λ	对于光波而言 $\lambda=c/\nu$
波数	σ	指每厘米中所含光波的数目(波长的倒数)
最大吸收波长	λ_{max}	光吸收曲线中吸收峰值所在的波长
透射比	$\tau(\lambda)$	透射辐射(光)通量和入射辐射(光)通量之比
吸光度	A	在数值上等于以 10 为底透射比倒数的对数，$A=-\lg[\tau(\lambda)]$
质量吸收系数	a	$a=A/b\rho$，式中 b 为光程，常用单位 cm；ρ 为质量浓度，常用单位 $g \cdot L^{-1}$
摩尔吸收系数	κ，ε★	$\kappa=A/bc$，式中 b 为光程，常用单位 cm；c 为物质的量浓度，常用单位 $mol \cdot L^{-1}$
等吸收点		在某波长处，两种或两种以上物质的吸收系数相等或同浓度下吸光度相等，称它们具有等吸收点

续表

量	符 号	简 要 说 明
折射率	n	$n=\sin i/\sin r$,式中 i,r 分别为入射角和折射角
摩尔折射率	R	$R=\dfrac{M(n^2-1)}{\rho(n^2+2)}$,式中 M 为物质的摩尔质量,ρ 为物质的密度
比旋光度*	$[\alpha]_D^t$	$[\alpha]_D^t=100\alpha/lc$,式中 α 为温度 t 时用钠盐 D 线所测得的旋光度,l 为旋光管的长度(以 dm 为单位),c 为 100ml 溶液中含有样品的质量(以 g 为单位)

表 1-33 常见缩略语

缩略语	英 文 名 称	中 文 名 称
AAS	atomic-absorption spectrophotometry	原子吸收分光光度法
AES	atomic-emission spectrometry	原子发射光谱法
	Auger electron spectroscopy	俄歇电子能谱法
AFS	atomic-fluorescence spectrophotometry	原子荧光分光光度法
amu	atomic mass unit	原子质量单位
bp	boiling point	沸点
DAS	derivative absorption spectrum	导数吸收光谱
DNA	deoxyribonucleic acid	脱氧核糖核酸
DSC	differential scanning calorimetry	差热扫描量热法
DTA	differential thermal analysis	差热分析
ECD	electron capture detector	电子捕获检测器
EELS	electron energy lose spectroscopy	电子能量损失谱法
emu	electromagnetic unit	电磁单位
EPMA	electron-prode micro analysis	电子探针微区分析
EPR	electron paramagnetic resonance	电子顺磁共振
ESCA	electron spectroscopy for chemical analysis	化学分析用电子能谱
ESR	electron spin resonance	顺磁共振
FID	flame ionization detector	火焰离子化检测器
FEM	method of field emission microscope	场发射显微镜法
fp	freezing point	凝固点
FPD	flame photometric detector	火焰光度检测器
FT	Fourier transform	傅里叶变换
GC	gas chromatography	气相色谱法
GLC	gas-liquid chromatography	气-液色谱法
GSC	gas-solid chromatography	气固色谱法
HME	hanging mercury electrode	悬汞电极
HPCE	high performance capillary electrophoresis	高效毛细管电泳法
HPLC	high performance liquid chromatography	高效液相色谱法
IC	ion chromatography	离子色谱法
IE	indicated electrode	指示电极
IEC	ion exchange chromatography	离子交换色谱
	ion exclusion chromatography	离子排斥色谱
IR	infrared spectrometry	红外光谱法
ISE	ion-selective electrode	离子选择性电极
MS	mass spectrum	质谱
MGC	multidimensional gas chromatography	多维气相色谱法
NCE	normal calomel electrode	甘汞电极
NHE	normal hydrogen electrode	标准氢电极
NMR	nuclear magnetic resonance	核磁共振
PES	photo electron spectroscopy	光电子能谱
PFGC	programmed flow gas chromatography	程序变流气相色谱法

续表

缩略语	英文名称	中文名称
PPGC	programmed pressure gas chromatography	程序变压气相色谱法
PTGC	programmed temperature gas chromatography	程序升温气相色谱法
PS	photoacoustic spectrometry	光声光谱法
PTS	percentage of theoretical slope	百分理论斜率
RE	reference electrode	参比电极
RGS	reaction gas chromatography	反应气相色谱法
RS	Raman spectrum	拉曼光谱
SD	standard derivation	标准偏差
STP	standard temperature and pressure	标准温度和压力
TCD	thermal conductivity detector	热导检测器
TLC	thin layer chromatography	薄层色谱法
SCE	saturated calomel electrode	饱和甘汞电极
sf	surfactant	表面活性剂
TGA	thermogravimetric analysis	热重量分析
UPS	ultraviolet photo electron spectroscopy	紫外光电子能谱
UV	ultraviolet	紫外
XPS	X-ray photo electron spectroscopy	X 射线光电子能谱

表 1-34 基本物理常数

（各常数的数值分别乘以单位项下的 10 的次幂，数值后括号内为不确定值，小数点与数值的末位对齐。）

常数名称		符号	数值	单位	
				SI	CGS
真空中光速		c	2.997 924 58(1.2)	10^{8} m·s^{-1}	10^{10}cm·s^{-1}
电子电荷		e	1.602 177 33(49)	10^{-19} C	10^{-20}cm$^{1/2}$·g$^{1/2}$
电子质量		m_e	9.109 389 7(54)	10^{-31} kg	10^{-28} g
质子质量		m_p	1.672 623 1(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
中子质量		m_n	1.674 928 6(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
原子质量单位		u	1.660 540 2(10)	10^{-27} kg	10^{-24} g
电子荷质比		e/m_e	1.758 819 6	10^{11} C·kg^{-10}	10^{7} cm$^{1/2}$·g$^{-1/2}$
普朗克常数		h	6.626 075 5(40)	10^{-34} Js	10^{-27} erg·s
阿佛伽德罗常数		N_A	6.022 136 7(36)	10^{23} mol^{-1}	10^{23} mol^{-1}
摩尔气体常数		R	8.314 510(70)	J·K^{-1}·mol^{-1}	10^{7}erg·K^{-1}·mol^{-1}
波尔兹曼常数		k	1.380 658(12)	10^{-23} J·K^{-1}	10^{-16} erg·K^{-1}
法拉弟常数		F	9.648 530 9(29)	10^{4} C·mol^{-1}	10^{3}cm$^{1/2}$·g$^{1/2}$·mol^{-1}
里德伯常数		R_∞	1.097 373 153 4(13)	10^{7} m^{-1}	10^{5} cm^{-1}
万有引力常数		G	6.672 59(85)	10^{-11}N·m^{2}·kg^{-2}	10^{-8}dyn·cm^{2}·g^{-2}
理想气体的标准体积		V_m	22.414 10(19)	10^{-3}m^{3}·mol^{-1}	10^{3} cm^{3}·mol^{-1}
玻尔半径		a_0	5.291 772 49(24)	10^{-11} m	10^{-9} cm
经典电子半径		r_e	2.817 940 92(38)	10^{-15}m	10^{-13} cm
以原子质量单位计的质子质量	质子	p	1.007 276 487(11)		
	氢	^{1}H	1.007 825 036(11)		
	氘(重氢)	^{2}H	2.014 101 795(21)		
	氦	^{4}He	4.002 603 276(48)		

第三节　化学元素的基本参数

表 1-35　化学元素相对原子质量 (1993 年)[❶]

表 1-35 中所列元素相对原子质量用 Ar (E) 值适用于地球物质中的元素和某些人造元素。其数值取自国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 无机化学分会原子量与同位素丰度委员会于 1987 年通过的元素的原子量，其中放射性元素部分的数据见表 1-36。根据 ISO31/8—1980 (E) GB3102.8—82 和 GB3102.8—86 规定，“元素的原子量”应改为“元素的相对原子质量”。

原子序数	名称[1]	符号	相对原子质量		备注[2]	原子序数	名称[1]	符号	相对原子质量		备注[2]
1	氢	H	1.00794	±0.00007	g, m, r	39	钇	Y	88.90585	±0.00002	
2	氦	He	4.002602	±0.000002	g, r	40	锆	Zr	91.224	±0.002	
3	锂	Li	6.941	±0.002	g, m, r	41	铌	Nb	92.90638	±0.00002	
4	铍	Be	9.012182	±0.000003		42	钼	Mo	95.94	±0.01	g
5	硼	B	10.811	±0.005	g, m, r	43	锝*	Tc	(97^{α}, 99^{β})		
6	碳	C	12.011	±0.001	r	44	钌	Ru	101.07	±0.02	g
7	氮	N	14.00674	±0.00007	g, r	45	铑	Rh	102.90550	±0.00003	
8	氧	O	15.9994	±0.0003	g, r	46	钯	Pd	106.42	±0.01	g
9	氟	F	18.9984032	±0.0000009		47	银	Ag	107.8682	±0.0002	g
10	氖	Ne	20.1797	±0.0006	g, m	48	镉	Cd	112.411	±0.008	g
11	钠	Na	22.989768	±0.000006	g, m	49	铟	In	114.818	±0.003	
12	镁	Mg	24.3050	±0.0006		50	锡	Sn	118.710	±0.007	g
13	铝	Al	26.981539	±0.000005		51	锑	Sb	121.760	±0.001	g
14	硅	Si	28.0855	±0.0003	r	52	碲	Te	127.60	±0.03	g
15	磷	P	30.973762	±0.000004		53	碘	I	126.90447	±0.00003	
16	硫	S	32.066	±0.006	g, r	54	氙	Xe	131.29	±0.02	g, m
17	氯	Cl	35.4527	±0.0009	m	55	铯	Cs	132.90543	±0.00005	
18	氩	Ar	39.948	±0.001	g, r	56	钡	Ba	137.327	±0.007	
19	钾	K	39.0983	±0.0001		57	镧	La	138.9055	±0.00002	g
20	钙	Ca	40.078	±0.004	g	58	铈	Ce	140.115	±0.004	g
21	钪	Sc	44.955910	±0.000009		59	镨	Pr	140.90765	±0.00003	
22	钛	Ti	47.867	±0.001		60	钕	Nd	144.24	±0.03	g
23	钒	V	50.9415	±0.0001		61	钷*	Pm	(145)		
24	铬	Cr	51.9961	±0.0006		62	钐	Sm	150.36	±0.03	g
25	锰	Mn	54.93805	±0.00001		63	铕	Eu	151.965	±0.009	g
26	铁	Fe	55.845	±0.002		64	钆	Gd	157.25	±0.03	g
27	钴	Co	58.93320	±0.00001		65	铽	Tb	158.92534	±0.00003	
28	镍	Ni	58.6934	±0.0002		66	镝	Dy	162.50	±0.03	g
29	铜	Cu	63.546	±0.003	r	67	钬	Ho	164.93032	±0.00003	
30	锌	Zn	65.39	±0.02		68	铒	Er	167.26	±0.03	g
31	镓	Ga	69.723	±0.001		69	铥	Tm	168.93421	±0.00003	
32	锗	Ge	72.61	±0.02		70	镱	Yb	173.04	±0.03	g
33	砷	As	74.92159	±0.00002		71	镥	Lu	174.967	±0.001	g
34	硒	Se	78.96	±0.03		72	铪	Hf	178.49	±0.02	
35	溴	Br	79.904	±0.001		73	钽	Ta	180.9479	±0.0001	
36	氪	Kr	83.80	±0.01	g, m	74	钨	W	183.84	±0.01	
37	铷	Rb	85.4678	±0.0003	g	75	铼	Re	186.207	±0.001	
38	锶	Sr	87.62	±0.01	g, r	76	锇	Os	190.23	±0.03	g

❶ 数据取自 Pure Appl. Chem., 1992, 64 (10): 1519—1934。

续表

原子序数	名称①	符号	相对原子质量		备注②	原子序数	名称①	符号	相对原子质量	备注②
77	铱③	Ir	192.217	±0.003		94	钚*	Pu	(239^{α}, $244^{\alpha,\beta}$)	
78	铂	Pt	195.08	±0.03		95	镅*	Am	(243^{α})	
79	金	Au	196.96654	±0.00003		96	锔*	Cm	(247^{α})	
80	汞	Hg	200.59	±0.02		97	锫*	Bk	(247^{α})	
81	铊	Tl	204.3833	±0.0002		98	锎*	Cf	(251^{α})	
82	铅	Pb	207.2	±0.1	g, r	99	锿*	Es	(252^{α})	
83	铋	Bi	208.98037	±0.00003		100	镄*	Fm	($257^{\alpha,\phi}$)	
84	钋*	Po	(209^{α}, 210^{α})			101	钔*	Md	(258^{α})	
85	砹*	At	(210^{α})			102	锘*	No	(259^{α})	
86	氡*	Rn	(222^{α})			103	铹*	Lr	(260^{α})	
87	钫*	Fr	(223^{β})			104	*	Unq	(261^{α})	
88	镭*	Ra	(226^{α})			105	*	Unp	(262^{α})	
89	锕*	Ac	($227^{\beta,\alpha}$)			106	*	Unh	(263^{α})	
90	钍*	Th	232.0381	±0.0001	g	107	*	Uns	(262^{α})	
91	镤*	Pa	231.03588	±0.00002		108	*	Uno	(265^{α})	
92	铀*	U	238.0289	±0.0001	g, m	109	*	Une	(266^{α})	
93	镎*	Np	(237^{α})							

① "*" 表示没有稳定同位素的元素，其相对原子质量栏中，（ ）内的值是放射性同位素的质量数。108，109 号元素亦是同一来源。

② g 地质样品中已知具有超出正常材料范围的同位素组成的元素。在这种样品中的元素的相对原子质量，与表中所给值之差，可能会超出所标的不确定度的值。

m 人工同位素组成，可以从商业上购得的材料中发现，因为它可能已受到不明的或无意的同位素分离，相对原子质量可能会出现重大偏差。

r 正常情况下，地球上材料的同位素可变范围妨碍了给出更准确的相对原子质量。表中所列之值应当适用于正常情况下的任何材料。

③ 数据取自 1994 年 9 月国际原子量委员会给张青莲等的信，见 1994 年 9 月 26 日《人民日报》。

表 1-36 放射性元素的相对原子质量

原子序	元素		符号	同位素	相对原子质量	半衰期	衰变方式
	中文名	英文名					
43	锝	Technetium	Tc	99	(98)	2.12×10^{5} 年	β^{-}
61	钷	Promethium	Pm	147	(145)	2.52 年	β^{-}
84	钋	Polonium	Po	210	(209)	138.4 天	α、γ
85	砹	Astatine	At	210	(210)	8.3 时	α、γ、κ-电子俘获
86	氡	Radon	Rn	222	(222)	3.823 日	α
87	钫	Francium	Fr	223	(223)	22 分	β、α、γ
88	镭	Radium	Ra	226	(226)	1620 年	α、γ
89	锕	Actinium	Ac	227	(227)	22 年	α、β^{-}
90	钍	Thorium	Th	232	232.0381	1.41×10^{10} 年	α、γ、自发裂变
91	镤	Protactinium	Pa	231	231.03588	3.4×10^{4} 年	α、γ
92	铀	Uranium	U	238	238.0289	4.51×10^{9} 年	α、γ、自发裂变
93	镎	Neptunium	Np	237	(237)	2.14×10^{6} 年	α、γ
94	钚	Plutonium	Pu	242		3.80×10^{5} 年	α、自发裂变
95	镅	Americium	Am	243	(243)	7.95×10^{3} 年	α、γ
96	锔	Curium	Cm	247	(247)	10^{7} 年	α、γ
97	锫	Berkelium	Bk	247	(247)	1.4×10^{3} 年	α
98	锎	Californium	Cf	249	(251)	360 年	α、γ、自发裂变

续表

原子序	元素		符号	同位素	相对原子质量	半衰期	衰变方式
	中文名	英文名					
99	锿	Einsteinium	Es	254	(252)	1年	α、自发裂变
100	镄	Fermium	Fm	253	(257)	3日	α
101	钔	Mendelevium	Md	256	(258)	1.5时	κ-电子俘获、自发裂变
102	锘	Nobelium	No	254	(259)	55秒	α
103	铹	Lawrencium	Lr	257	(260)	0.6秒	α
104		Unniquadium	Unq		(261)		
105		Unnipentium	Unp		(262)		
106		Unnilhexium	Unh		(263)		
107		Unnilseptium	Uns		(262)		

表 1-37 化学元素中外文（拉丁、英、俄、德、日、法）名称对照表[①]

原子序数	符号	中文名称	拉丁文名	英文名	俄文名	德文名	日文名	法文
1	H	氢	Hydrogenium	Hydrogen	Водород	Wasserstoff	水　素(すいそ)	Hydrogène
2	He	氦	Helium	Helium	Гелий	Helium	ヘリウム	Hélium
3	Li	锂	Lithium	Lithium	Литий	Lithium	リチウム	Lithium
4	Be	铍	Beryllium	Beryllium	Бериллий	Beryllium	ベリウム	Glucinium
5	B	硼	Borium	Boron	Бор	Bor	ホウ素（硼そ）	Bore
6	C	碳	Carbonium	Carbon	Углерод	Kohlenstoff	炭　素（たんそ）	Carbone
7	N	氮	Nitrogenium	Nitrogen	Азот	Stickstoff	窒素（ちつそ）	Azote
8	O	氧	Oxygenium	Oxygen	Кислород	Sauerstoff	酸素（さんそ）	Oxygéne
9	F	氟	Fluorum	Fluorine	Фтор	Fluor	フッ素（弗素）	Fluor
10	Ne	氖	Neonum	Neon	Неон	Neon	ネオン	Nèon
11	Na	钠	Natrium	Sodium	Натрий	Natrium	ナトリウム	sodium
12	Mg	镁	Magnesium	Magnesium	Магний	Magnesium	マグネシウム	Magnésium
13	Al	铝	Aluminium	Aluminum	Адюминий	Aluminium	アルミニウム	Aluminium
14	Si	硅	Silicium	Silicon	Кремний	Silizium	ケイ素（珪そ）	silicium
15	P	磷	Phosphorum	Phosphorus	Фосфор	Phosphor	リン（燐）	Phosphore
16	S	硫	Sulphur	Sulfur	Сера	Schwefel	イオウ（硫黄）	Soufre
17	Cl	氯	Chlorum	Chlorine	Хлор	Chlor	盐　素（えんそ）	chlor
18	A	氩	Argonium	Argon	Аргон	Argon	アルゴン	Argon
19	K	钾	Kalium	Potassium	Калий	Kalium	カリウム	potassium
20	Ca	钙	Calcium	Calcium	Кальций	Calzium	カルシウム	Calcium
21	Sc	钪	Scandium	Scandium	Скандий	Skandium	スカンジウム	Scandium
22	Ti	钛	Titanium	Titanium	Титан	Titan	チタン	Titane
23	V	钒	Vanadium	Vanadium	Ванадий	Vanadin	バナジウム	Vanadium
24	Cr	铬	Chromium	Chromium	Хром	Chrom	クロム	Chrome
25	Mn	锰	Manganum	Manganese	Марганец	Mangan	マンガン	Manganese
26	Fe	铁	Ferrum	Iron	Железо	Eisen	铁（てフ）	Fer
27	Co	钴	Cobaltum	Cobalt	Кобальт	Kobalt	コバルト	Cobalt
28	Ni	镍	Niccolum	Nickel	Некель	Nickel	ニッケル	Nickel
29	Cu	铜	Cuprum	Copper	Медъ	Kupfer	铜（ピラ）	Cuivre
30	Zn	锌	Zincum	Zinc	Цинк	Zink	亚　铅（あえん）	Zinc

续表

原子序数	符号	中文名称	拉丁文名	英文名	俄文名	德文名	日文名	法文
31	Ga	镓	Gallium	Gallium	Галлий	Gallium	ガリウム	Gallium
32	Ge	锗	Germanium	Germanium	Германий	Germanium	グルマニウム	Germanium
33	As	砷	Arsenium	Arsenic	Мышьяк	Arsen	ヒ　素（砒そ）	Arsenic
34	Se	硒	Selenium	Selenium	Селен	Selen	セレン	Sélénium
35	Br	溴	Bromium	Bromine	Бром	Bron	臭　素(しゆうそ)	Brome
36	Kr	氪	Kryptonum	Krypton	Криптон	Krypton	クリプトン	Crypton
37	Rb	铷	Rubidium	Rubidium	Рубидий	Rubidium	ルビジウム	Rûbidium
38	Sr	锶	Strontium	Strontium	Стронций	Strontium	ストロンチウム	strontium
39	Y	钇	Yttrium	Yttrium	Иттрий	Yttrium	イットリウム	Yttrium
40	Zr	锆	Zirconium	Zirconium	Цирконий	Zirkonium	ジルコニウム	Zirconium
41	Nb	铌	Niobium	Niobium	Ниобий	Niob	ニオブ	Niobium
42	Mo	钼	Molybdanium	Molybdenum	Молибден	Molybdän	モリブデン	Molybdène
43	Tc	锝	Technetium	Technetium	Технеций	Technetium	テクネチウム	Technetium
44	Ru	钌	Ruthenium	Ruthenium	Рутений	Ruthenium	ルテニウム	Ruthénium
45	Rh	铑	Rhodium	Rhodium	Родий	Rhodium	ロジウム	Rhodium
46	Pd	钯	Palladium	Palladium	Палладий	Palladium	パテジウム	Palladium
47	Ag	银	Argentum	Silver	Серебро	Silber	银	Argent
48	Cd	镉	Cadmium	Cadmium	Кадмий	Kadmium	カトシウム	Cadmium
49	In	铟	Indium	Indium	Индий	Indium	インジウム	Indium
50	Sn	锡	Stannum	Tin	Олово	Zinn	スズ（锡）	Etain
51	Sb	锑	Stibium	Antimony	Сурьма	Antimon	アンチモン	Antimoine
52	Te	碲	Tellurum	Tellurium	Теллур	Tellur	テルル	Tellure
53	I	碘	lolium	Iodine	Иод	Jod（J）	ヨウ素	Iode
54	Xe	氙	Xenonum	Xenon	Ксенон	Xenon	キセノン	Xenon
55	Cs	铯	Caesium	Caesium	Цезий	Zäsium	セシウム	Césium
56	Ba	钡	Baryum	Barium	Барий	Barium	バリウム	Baryum
57	La	镧	Lanthanum	Lanthanum	Лантан	Lanthan	ランタン	Lanthane
58	Ce	铈	Cerium	Cerium	Церий	Cerium（zer）	セリウム	cèrium
59	Pr	镨	Praseodymium	Praseodymium	Празеодимий	Praseodym	プラセオジム	Praséodyme
60	Nd	钕	Neodymium	Neodymium	Неодим	Neodym	ネオジム	Néodyme
61	Pm	钷	Promethium	Promethium	Прометий	Promethium	プロメチウム	Promethium
62	Sm	钐	Samarium	Samarium	Самарий	Samarium	サマリウム	Samarium
63	Eu	铕	Europium	Europium	Европий	Europium	ユーロピウム	Europium
64	Gd	钆	Gadolinium	Gadolinium	Гадолиний	Gadolinium	ガドリニウム	Gadolinium
65	Tb	铽	Terbium	Terbium	Тербий	Terbium	テルビウム	Terbium
66	Dy	镝	Dysprosium	Dysprosium	Диспрозий	Dysprosium	ジスプロシウム	Dysprosium
67	Ho	钬	Holmium	Holmium	Гольмий	Holmium	ホルシウム	Holmium
68	Er	铒	Erbium	Erbium	Эрбий	Erbium	エルビウム	Erbium
69	Tm	铥	Thulium	Thulium	Тулий	Thulium	ツリウム	Thulium
70	Yb	镱	Ytterbium	Ytterbium	Иттербий	Ytterbium	イッテルビウム	Ytterbium
71	Lu	镥	Lutetium	Lutetium	Лютеций	Lutetium (kassioperium)	ルテシウム	Lutécium
72	Hf	铪	Hafnium	Hafuium	Гафний	Hafnium	ハフニウム	Celtium

续表

原子序数	符号	中文名称	拉丁文名	英文名	俄文名	德文名	日文名	法文
73	Ta	钽	Tantalum	Tantalum	Тантал	Tantal	タンタル	Tantale
74	W	钨	Wolfram	Tungsten	Вольфрам	Wolfram	タングステン	Tungstène
75	Re	铼	Rhenium	Rhenium	Рений	Rhenium	レニウム	Rhénium
76	Os	锇	Osmium	Osmium	Осмий	Osmium	オスシウム	Osmium
77	Ir	铱	Iridium	Iridium	Иридий	Iridium	イリジウム	Iridium
78	Pt	铂	Platinum	Platinum	Платина	Platin	白　金（はくきん）	Platine
79	Au	金	Aurum	Gold	Золото	Gold	金（きん）	Or
80	Hg	汞	Hydrargyrum	Mercury	Ртуть	Quecksilber	水银（すいぎん）	Mercure
81	Tl	铊	Thallium	Thallium	Таллий	Thallium	タリウム	Thallium
82	Pb	铅	Plumbum	Lead	Свинец	Blei	铅（なまり）	Plomb
83	Bi	铋	Bismuthum	Bismuth	Висмут	Wismut	ビスマス	Bismuth
84	Po	钋	Polonium	Polonium	Полоний	Polonium	ポロニウム	Polonium
85	At	砹	Astatium	Astatine	Астатин	Astatin	アスタチン	Astatine
86	Rn	氡	Radon	Radon	Радон	Radon	ラドン	Radon
87	Fr	钫	Francium	Francium	Франций	Francium	フランシウム	Francium
88	Ra	镭	Radium	Radium	Радий	Radium	ラジウム	Radium
89	Ac	锕	Actinium	Actinium	Актиний	Aktinium	アクチニウム	Actinium
90	Th	钍	Thorium	Thorium	Торий	Thorium	トリウム	Thorium
91	Pa	镤	Protactinium	Protactinium	Протактиний	Protaktinium	プロトアクチニウム	Protactinium
92	U	铀	Uranium	Uranium	Уран	Uran	ウラン	Uranium
93	Np	镎	Neptunium	Neptunium	Нептуний	Neptunium	ネプツニウム	Neptunium
94	Pu	钚	Plutonium	Plutonium	Плутоний	Plutonium	プルトニウム	Plutonium
95	Am	镅	Americium	Americium	Америций	Americium	アメリシウム	Americium
96	Cm	锔	Curium	Curium	Кюрий	Curium	キュリウム	Curium
97	Bk	锫	Berkelium	Berkelium	Беркелий	Berkelium	バークリウム	Berkelium
98	Cf	锎	Californium	Californium	Калифорний	Californium	カリホルニウム	Californium
99	Es	锿	Einsteinium	Einsteinium	Эйнштейний	Einsteinium	アインシュタイニウム	Einsteinium
100	Fm	镄	Fermium	Fermium	Фермий	Fermium	フェルミウム	Fermium
101	Md	钔	Mendelevium	Mendelevium	Менделевий	Mendelevium	メンデレビウム	Mendelevium
102	No	锘	Nobelium	Nobelium	Нобелий	Nobelium	ノーベリウム	Nobelium
103	Lr	铹	Lawrencium	Lawrencium	Лауренций	Lawrencium	ローレンシウム	Lawrencium
104	Unq		Unnilquadium		Курчатовий			
105	Unp		Unnilpentium					
106	Unh		Unnilhexium					
107	Uns		Unnilseptium					
108	Uno		Unniloctium					
109	Une		Unnilennium					

注：对于原子序数大于100的元素，IUPAC通过了按照代表原子序数（质子数）的数字音节的系统命名法，以代替特殊的名称。原子序数的数字音节为：0=nil，2=bi，3=tri，4=quad，5=pent，6=hex，7=sept，8=oct，9=enn，100=unnil；将各数字音节相结合，用"ium"结尾。

表 1-38 相对原子质量、相对分子质量及其对数

（以 1991 年公布的原子量计算）

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
Ag	107.868	0329
Ag_3AsO_3	446.524	64984
Ag_3AsO_4	462.523	66513
$AgBr$	187.772	27363
$AgC_2H_3O_2$（乙酸银）	166.913	22249
$AgC_7H_4NS_2$（巯基苯并噻唑银）	274.11	43792
$AgCN$	133.886	12674
Ag_2CO_3	277.741	44364
$AgCl$	143.321	15631
Ag_2CrO_4	331.730	52078
$Ag_2Cr_2O_7$	431.730	63521
AgF	126.866	10335
$Ag_3[Fe(CN)_6]$	535.56	72881
$Ag_4[Fe(CN)_6]$	643.43	80850
AgI	234.772	37065
$AgNO_2$	153.874	18717
$AgNO_3$	169.873	23012
Ag_2O	231.735	36499
$AgOCN$	149.885	17576
Ag_3PO_4	418.575	62177
Ag_2S	247.802	39410
$AgSCN$	165.952	21998
Ag_2SO_4	311.800	49388
$AgVO_3$	206.808	31555
Ag_3VO_4	438.544	64201
Al	26.9815	43106
$AlBr_3$	266.694	42601
$Al(C_2H_3O_2)_3$（醋酸铝）	204.117	30988
$Al(C_9H_6ON)_3$（8-羟基喹啉铝）	459.444	66223
$AlCl_3$	133.341	12496
$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	241.433	38280
AlF_3	83.9767	92416
AlF_6	140.9719	14913
$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	474.3904	67614
$AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	453.3306	65642
$Al(NO_3)_3$	212.996	32837
$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	375.134	57419
Al_2O_3	101.9612	00843
$1/6Al_2O_3$	16.9935	23028
$Al(OH)_3$	78.0036	89211
$AlPO_4$	121.953	08619
$Al_2(SO_4)_3$	342.1538	53422

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666.4288	82375
As	74.9216	87461
$AsBr_3$	314.634	49781
$AsCl_3$	181.281	25835
$AsCl_5$	252.187	40172
AsH_3	77.9454	89179
AsO_3	122.9198	08962
AsO_4	138.9192	14276
As_2O_3	197.8414	29632
As_2O_5	229.8402	36143
As_2O_7	261.8390	41803
AsS_4	203.1856	30789
As_2S_3	246.0412	39101
As_2S_5	310.1732	49160
Au	196.967	29439
$AuCN$	222.985	31828
$Au(CN)_2$	249.003	39620
$Au(CN)_4$	301.038	47862
$AuCl_3$	303.326	48191
$AuCl_3 \cdot 2H_2O$	339.357	53066
$AuCl_4$	338.779	52992
B	10.811	03387
BBr_3	250.52	39884
BCl_3	117.17	06882
BF_3	67.806	83127
BF_4	86.805	93854
BO_2	42.810	63155
BO_3	58.809	76944
B_2O_3	69.62	84273
B_4O_7	155.24	19100
Ba	137.327	13776
$BaBr_2$	297.135	47295
$BaBr_2 \cdot 2H_2O$	333.166	52266
$BaCO_3$	197.336	29521
BaC_2O_4（草酸钡）	225.347	35285
$BaCl_2$	208.232	31855
$BaCl_2 \cdot 2H_2O$	244.263	38786
$Ba(ClO_3)_2 \cdot H_2O$	322.244	50818
$BaClO_4$	236.777	37434
$BaClO_4 \cdot 3H_2O$	290.823	46362
$BaCrO_4$	253.321	40367
BaF_2	175.324	24384
$Ba(NO_3)_2$	261.337	41720
BaO	153.326	18562

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
BaO_2	169.326	22872
$Ba(OH)_2$	171.3447	23388
$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	315.467	49899
$BaSO_3$	217.391	33724
$BaSO_4$	233.391	36808
$BaSeO_4$	280.285	44760
$BaSiF_6$	279.403	44622
Be	9.0122	95483
$BeCO_3$	69.0216	83898
$BeCO_3 \cdot 4H_2O$	141.0827	14947
$BeCl_2$	79.918	90264
$BeCl_2 \cdot 4H_2O$	151.9791	18178
BeF_2	47.0090	67218
BeF_4	85.0058	92945
$Be(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	187.0678	27200
BeO	25.0116	39814
$Be(OH)_2$	43.0269	63374
$Be_2P_2O_7$	191.968	28323
$BeSO_4$	105.0758	02150
$BeSO_4 \cdot 4H_2O$	177.1369	24831
Bi	208.9804	32010
$BiC_6H_3O_3$（焦性五倍子酸铋）	332.0684	52123
$Bi(C_9H_6ON)_3$（8-羟基喹啉铋）	641.4304	80715
$Bi(C_9H_6ON)_3 \cdot H_2O$（8-羟基喹啉铋）	659.4457	81918
$Bi(C_{12}H_{10}ONS)_3 \cdot H_2O$（巯乙酰替萘胺铋）	875.8463	94243
$BiCl_3$	315.339	49878
$Bi[Cr(SCN)_6]$	609.4789	78496
BiI_3	589.693	77063
BiI_4	716.598	85528
$(BiI_4H)(C_9H_7ON)$（8-羟基喹啉四碘络铋）	862.7669	93589
$(BiI_4H)(C_{10}H_9N)$（2-甲基喹啉四碘络铋）	860.7944	93490
$Bi(NO_3)_3$	394.995	59659
$Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$	485.0714	68580
Bi_2O_3	465.958	66834
$(BiO)_2CO_3 \cdot 1/2H_2O$	518.976	71515
$BiOBr$	304.883	48413

续表

化学式	量 a	lga（尾数）
BiOCl	260.432	41569
$(BiO)_2Cr_2O_7$	665.947	82344
$BiONO_3 \cdot H_2O$	305.000	48430
$BiPO_4$	303.951	48280
Bi_2S_3	514.1588	71110
Br	79.904	90257
BrO	95.903	95183
BrO_3	127.902	10688
C	12.01115	07958
CCl_4	153.823	18702
CH_2	14.0269	14696
CH_3	15.0348	17710
CH_4	16.0428	20528
C_2H_2	26.0379	41561
C_2H_5	29.0617	46332
C_6H_5	77.1057	88709
$C_{10}H_6$	126.1576	10091
$C_{10}H_7$	127.1656	10437
$C_{10}H_8$（萘）	128.1735	10780
CH_3Br	94.9388	97744
$CHCl_3$	119.378	07692
CH_3Cl	50.4875	70318
CH_3F	34.0332	53190
CH_3I	141.9393	15210
CH_2N_2	42.0404	62367
$C_2H_8N_2$（乙二胺）	60.0990	77887
C_5H_5N（吡啶）	79.1014	89818
$C_{20}H_{16}N_4$（硝酸灵）	312.3740	49467
$C_{20}H_{16}N_4 \cdot HClO_4$	412.8322	61577
$C_{20}H_{16}N_4 \cdot HNO_3$	375.3869	57448
CH_2O	30.0263	47750
CH_3O	31.0342	49184
CH_4O	32.0422	50573
C_2H_3O	43.0452	63392
C_2H_6O	46.0690	66341
$C_4H_4O_6$（酒石酸根）	148.0722	17047
C_6H_6O（苯酚）	94.1130	97365
$C_7H_6O_2N$（邻氨基苯甲酸根离子）	136.1302	13395
C_9H_6ON（8-羟基喹啉离子）	144.1528	15882
C_9H_7ON（8-羟基喹啉）	145.1607	16185
CN	26.0179	41527
CNO	42.0173	62343
CNS	58.0837	76405

化学式	量 a	lga（尾数）
CO	28.0106	44732
$CO(NH_2)_2$	60.0556	77855
CO_2	44.0100	64355
CO_3	60.0094	77822
C_2O_4	88.0199	94458
CO_2H	45.0177	65338
CS_2	76.1430	88163
$CS(NH_2)_2$	76.1222	88151
Ca	40.078	60291
$CaBr_2$	199.886	30078
$CaBr_2 \cdot 6H_2O$	307.9777	48852
CaC_2	64.100	80686
$Ca(CHO_2)_2$	130.1135	11432
$Ca(C_2H_3O_2)_2$	158.16724	19912
$Ca(C_3H_5O_3)_2$（乳酸钙）	218.2198	33889
$Ca(C_3H_5O_3)_2 \cdot 5H_2O$	308.2962	43897
$Ca_3(C_6H_5O_7)_2$（柠檬酸钙）	498.437	69761
$Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 4H_2O$	570.4981	75625
$Ca(C_{10}H_7N_4O_5)_2 \cdot 8H_2O$（苦酮酸钙）	710.5793	85161
$CaCN_2$（氰氨化钙）	80.10	90363
$CaCO_3$	100.0872	00038
CaC_2O_4	128.0976	10754
$CaC_2O_4 \cdot H_2O$	146.1129	16469
$CaCl_2$	110.9834	04528
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	219.0751	34059
$Ca(ClO)_2$	142.9822	15528
$Ca(ClO)_2 \cdot 4H_2O$	215.0432	33253
$CaCrO_4$	156.0717	19332
$CaCrO_4 \cdot 2H_2O$	192.1023	28353
CaF_2	78.0748	89251
$Ca_2[Fe(CN)_6] \cdot 12H_2O$	508.2928	70611
CaH_2	42.0939	62422
$Ca(HCO_3)_2$	162.1123	20982
$CaHPO_4$	136.0573	13372
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	172.0879	23575
$Ca(H_2PO_4)_2$	234.0526	36931
$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	252.0679	40152
$Ca(HS)_2 \cdot 6H_2O$	214.3176	33106
$Ca(HSO_3)_2$	202.2223	30583
CaI_2	293.8870	46818
$CaMoO_4$	200.0156	30106
$Ca(NO_3)_2$	164.0879	21508
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	236.149	37319
CaO	56.0774	74879

化学式	量 a	lga（尾数）
$Ca(OH)_2$	74.093	86976
$Ca(PO_3)_2$	198.022	29671
$Ca_3(PO_4)_2$	310.1768	49161
CaS	72.144	85820
$CaSO_3$	120.142	07969
$CaSO_3 \cdot 2H_2O$	156.173	19360
$CaSO_4$	136.142	13399
$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$	145.149	16181
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	172.173	23596
CaS_2O_3	152.208	18244
$CaS_2O_3 \cdot 6H_2O$	260.300	41547
$CaSiF_6$	182.154	26045
$CaSiO_3$	116.162	06506
$CaWO_4$	287.926	45928
Cd	112.411	05077
$CdBr_2$	272.219	43490
$CdBr_2 \cdot 4H_2O$	344.280	53690
$Cd(C_2H_3O_2)_2$	230.500	36267
$Cd(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$	266.521	42575
$Cd(C_5H_5N)_2(SCN)_2$（二吡啶二硫氰酸络镉）	386.781	58747
$Cd(C_5H_5N)_4(SCN)_2$（四吡啶二硫氰酸络镉）	544.984	73638
$Cd(C_7H_4NS_2)_2$（巯基苯并噻唑镉）	444.906	64827
$Cd(C_7H_6O_2N)_2$（邻氨基苯甲酸镉）	384.671	58509
$Cd(C_9H_6ON)_2$（8-羟基喹啉镉）	400.717	60284
$Cd(C_9H_6ON)_2 \cdot 2H_2O$	436.748	64023
$Cd(C_{10}H_6O_2N)_2$（喹哪啶酸镉）	456.737	65966
$Cd(CN)_2$	164.446	21602
$CdCO_3$	172.420	23656
$CdCl_2$	183.316	26310
$CdCl_2 \cdot H_2O$	201.332	30389
$CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$	228.354	35860
$Cd[Hg(SCN)_4]$	545.336	73666
CdI_2	366.220	56373
$CdNH_4PO_4 \cdot H_2O$	243.436	38639
$Cd(NO_3)_2$	236.421	37369
$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	308.482	48923
CdO	128.410	10860
$Cd(OH)_2$	146.426	16562

续表

化学式	量 a	lga(尾数)
$Cd_2P_2O_7$	398.765	60072
CdS	144.477	15980
$CdSO_4$	208.475	31905
$CdSO_4 \cdot 8/3H_2O$	256.616	40928
Ce	140.115	14648
$Ce(C_2H_{10}N_2)_2 \cdot (SO_4)_4 \cdot 7H_2O$	774.706	88914
(硫酸二乙二铵铈)		
$Ce(C_9H_6ON)_3$	572.573	75783
(8-羟基喹啉铈)		
$Ce_2(C_2O_4)_3$	544.289	73583
$Ce_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O$	706.426	84907
$CeCl_3$	246.473	39177
$CeCl_3 \cdot 7H_2O$	372.580	57122
$Ce(NH_4)_2(NO_3)_6$	548.222	73896
$Ce(NH_4)_2(NO_3)_6 \cdot 2H_2O$	584.252	76660
$Ce(NH_4)_4(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	632.554	80110
$Ce(NO_3)_3$	326.130	51339
$Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	434.221	63771
CeO_2	172.114	23582
Ce_2O_3	328.228	51618
Ce_3O_4	484.343	68515
$CePO_4$	235.086	37123
$Ce(SO_4)_2$	332.242	52145
$Ce(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$	404.303	60671
$Ce_2(SO_4)_3$	568.421	75467
$Ce_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$	712.543	85281
Cl	35.4527	54965
ClO	51.4521	71140
ClO_2	67.4515	82899
ClO_3	83.4509	92143
ClO_4	99.4503	99761
Co	58.9332	77036
$CoBr_2$	218.741	33993
$CoBr_2 \cdot 6H_2O$	326.833	51433
$Co(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$	249.0836	39635
$Co(C_5H_5N)_4(SCN)_2$	491.5062	69153
(四吡啶二硫氰酸络钴)		
$Co_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 4H_2O$	627.0637	79731
(柠檬酸钴)		
$Co(C_7H_6O_2N)_2$	331.1936	52008

化学式	量 a	lga(尾数)
(邻氨基苯甲酸钴)		
$Co(C_9H_6ON)_2 \cdot 2H_2O$	383.2693	58350
(8-羟基喹啉钴)		
$Co(C_{10}H_6O_2N)_3 \cdot 2H_2O$	611.4533	78636
(α-亚硝基-β萘酸钴)		
$CoC_2O_4 \cdot 2H_2O$	182.9834	26241
$CoCl_2$	129.8386	11341
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	237.9303	37645
$CoCrO_4$	174.927	24286
$Co[Hg(SCN)_4]$	491.8582	69184
$Co(NO_3)_2$	182.943	26232
$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	291.0347	46394
CoO	74.9326	87467
Co_2O_3	165.8646	21975
Co_3O_4	240.797	38165
$Co_2P_2O_7$	291.810	46510
CoS	90.9992	95904
$CoSO_4$	154.9968	19032
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	281.1038	44887
Cr	51.9961	71597
$CrCl_2$	122.902	08956
$CrCl_3$	158.355	19963
$CrCl_3 \cdot 6H_2O$	266.4467	42561
$CrK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	499.4050	69845
$Cr(NO_3)_3$	238.011	37660
$Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	400.1485	60222
CrO	67.995	83248
CrO_3	99.994	99997
CrO_4	115.994	06444
Cr_2O_3	151.990	18182
Cr_2O_7	215.988	33443
$Cr(OH)_3$	103.0181	01291
$CrPO_4$	146.967	16722
$Cr_2(SO_4)_3$	392.1830	59349
$Cr_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	716.4580	85519
Cs	132.9054	12354
$CsAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	568.1975	75450
Cs_2CO_3	325.819	51298
CsCl	168.358	22623
$CsClO_4$	232.356	36615
Cs_2CrO_4	381.804	58184
$Cs_2Cr_2O_7$	481.798	68287
CsI	259.809	41465

化学式	量 a	lga(尾数)
$CsNO_3$	194.910	28983
Cs_2O	281.809	44995
CsOH	149.912	17584
$Cs_2[PtCl_6]$	673.62	82842
Cs_2SO_4	361.8744	55856
Cu	63.546	80309
$CuBr_2$	223.354	34899
$Cu(C_2H_3O_2)_2 \cdot H_2O$	199.6505	30027
$Cu(C_5H_5N)_2(SCN)_2$	337.9164	52881
(二吡啶二硫氰酸络铜)		
$Cu(C_7H_6O_2N)_2$	335.8064	52609
(邻氨基苯甲酸铜)		
$Cu(C_9H_6ON)_2$	351.852	54636
(8-羟基喹啉铜)		
$Cu(C_{10}H_6O_2N)_2 \cdot H_2O$	425.8876	62930
(喹哪啶酸铜)		
$Cu(C_{12}H_{10}ONS)_2 \cdot H_2O$	514.1284	71107
(巯乙酰替萘胺铜)		
$CuC_{14}H_{11}O_2N_2$	302.7996	48116
(试铜灵铜)		
CuCN	89.564	95213
CuCl	98.999	99563
$CuCl_2$	134.452	12857
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	170.483	23168
$Cu[Hg(SCN)_4]$	496.4710	69589
CuI	190.450	27978
$Cu(NO_3)_2$	187.556	27313
$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	241.602	38310
$Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	295.648	47077
CuO	79.545	90061
$Cu(OH)_2$	97.561	98928
Cu_2O	143.091	15561
$Cu_2(OH)_2CO_3$	221.116	34462
CuS	95.612	98051
Cu_2S	159.158	20183
CuSCN	121.6297	08504
$CuSO_4$	159.6096	20306
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	249.686	39739
F	18.9984	27872
Fe	55.847	74700
$FeBr_3$	295.559	47064
$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	403.6507	60601
Fe_3C	179.55	25419

续表

化学式	量 a	lg$a$（尾数）
$Fe(C_9H_6ON)_3$	488.3054	68869
(8-羟基喹啉铁)		
$Fe(CN)_6$	211.954	32624
$FeCO_3$	115.856	06392
$FeCl_2$	126.75	10295
$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	198.8135	29846
$FeCl_3$	162.2051	21008
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270.2968	43184
$Fe(HCO_3)_2$	177.8813	25013
$FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	482.1961	68322
$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	392.1429	59344
$Fe(NO_3)_3$	241.862	38357
$Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	349.9535	54401
FeO	71.846	85640
Fe_2O_3	159.69	20328
Fe_3O_4	231.54	36463
$Fe(OH)_3$	106.869	02885
$FePO_4$	150.818	17845
FeS	87.913	94404
FeS_2	119.979	07911
$FeSO_4$	151.9106	18159
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	278.0176	44408
$Fe_2(SO_4)_3$	399.8848	60193
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	562.0223	74975
Ga	69.723	84336
$Ga(C_9H_6ON)_3$	502.181	70086
(8-羟基喹啉镓)		
$Ga(C_9H_4Br_2ON)_3$	975.558	98925
(二溴 8-羟基喹啉镓)		
$GaCl_3$	176.08	24571
Ga_2O_3	187.44	27286
Ge	72.61	86088
$GeCl_4$	214.41	33125
GeO_2	104.601	01957
GeS_2	136.742	13590
H	1.00794	00345
H_3AsO_4	141.9430	15211
$HAuCl_4 \cdot 4H_2O$	411.8464	61474
HBO_2	43.8177	64165
H_3BO_3	61.8330	79122
HBr	80.9119	90801
$HBrO$	96.9113	98637
$HBrO_3$	128.9101	11029

化学式	量 a	lg$a$（尾数）
$HCHO_2$	46.0257	66300
$HC_2H_3O_2$	60.0526	77853
$HC_3H_5O_3$(乳酸)	90.0795	95463
$HC_4H_4O_6$	149.0801	17342
(酒石酸氢离子)		
$H_2C_4H_4O_4$(丁二酸)	118.0892	07221
$H_2C_4H_4O_5$	134.0886	12739
(羟基丁二酸)		
$H_2C_4H_4O_6$(酒石酸)	150.0880	17635
$H_3C_6H_5O_7$(柠檬酸)	192.1253	28358
$H_3C_6H_5O_7 \cdot H_2O$	210.1406	32251
$HC_6H_6O_3NS$	173.1925	23853
(氨基苯磺酸)		
$HC_6H_6O_3NS \cdot 2H_2O$	209.2231	32061
$HC_7H_5O_2$(苯甲酸)	122.1234	08680
$HC_7H_5O_3$(水杨酸)	138.1228	14027
$HC_7H_6O_2N$	137.1381	13716
(邻氨基苯甲酸)		
$HC_8H_4O_4$	165.1253	21782
(酒石酸氢离子)		
$H_2C_8H_4O_4$	166.1332	22046
(邻苯二甲酸)		
$H_2C_7H_4O_6S$	218.1870	33883
(磺基水杨酸)		
$H_2C_7H_4O_6S \cdot 2H_2O$	254.2176	40520
$HC_{10}H_6O_2N$	173.1711	23848
(喹哪啶酸)		
$HC_{10}H_6O_2N \cdot 2H_2O$	209.2017	32057
$H_4C_{10}H_{12}O_8N_2$	292.2457	46575
(乙二胺四乙酸)		
HCN	27.0258	43178
HCO_2	45.0177	65339
HCO_3	61.0171	78545
H_2CO_3	62.0251	79257
$H_2C_2O_4$	90.0355	95442
$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$	126.0660	10060
HCl	36.4606	56183
$HClO$	52.4600	71983
$HClO_3$	84.4588	92665
$HClO_4$	100.4582	00199
H_2CrO_4	118.0096	07192
$H_2Cr_2O_7$	218.0039	33846
HF	20.0064	30117
HI	127.9124	10691
HIO	143.9118	15810
HIO_3	175.9106	24529
HIO_4	191.9100	28310
H_5IO_6	227.9406	35782
$H_2MoO_4 \cdot H_2O$	179.9688	25520

化学式	量 a	lg$a$（尾数）
HNO_2	47.0135	67222
HNO_3	63.0129	79943
HO	17.0074	23064
H_2O	18.0153	25564
H_2O_2	34.0147	53167
HPO_3	79.9800	90298
HPO_4	95.9794	98218
H_2PO_4	96.9873	98671
H_3PO_2	65.9965	81952
H_3PO_3	81.9959	91379
H_3PO_4	97.9953	99121
$H_4P_2O_7$	177.975	25036
$HReO_4$	251.2	40002
HS	33.0739	51946
H_2S	34.0819	53250
$HSCN$	59.0917	77151
HSO_3	81.0721	90886
H_2SO_3	82.0801	91424
HSO_4	97.0715	98709
H_2SO_4	98.0795	99157
$H_2S_2O_3$	114.1461	05744
H_2SO_5	114.0788	05720
H_2Se	80.9759	90836
H_2SeO_3	128.9741	11050
H_2SeO_4	144.9735	16129
H_2Te	129.6159	11266
H_2TeO_4	193.6135	28697
H_6TeO_6	229.6440	36105
H_2WO_4	249.8635	39770
Hg	200.59	30231
$HgBr_2$	360.40	55678
$Hg(C_2H_3O_2)_2$	318.68	50335
$Hg(C_5H_5N)_2Cr_2O_7$	574.78	75050
(重铬酸二吡啶络汞)		
$Hg(C_7H_6O_2N)_2$	472.85	67472
(邻氨基苯甲酸汞)		
$Hg(C_{12}H_{10}ONS)_2$	633.16	80151
(巯乙酰替萘胺汞)		
HgC_2O_4	288.61	46031
$Hg(CN)_2$	252.63	40248
$HgCl_2$	271.50	43377
Hg_2Cl_2	472.09	67402
$HgCrO_4$	316.58	50048
HgI_2	454.40	65744
$Hg(NO_3)_2$	324.60	51135
$Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$	342.62	53481
$Hg_2(NO_3)_2$	525.19	72032

续表

化学式	量 a	lg$a$ (尾数)
$Hg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$	561.22	74913
HgO	216.59	33564
Hg_2O	417.18	62032
HgS	232.66	36670
Hg_2S	433.25	63673
$Hg(SCN)_2$	316.76	50072
$Hg_2(SCN)_2$	517.35	71378
$HgSO_4$	296.65	47224
Hg_2SO_4	497.24	69657
I	126.9045	10348
ICl	162.3572	21047
ICl_3	233.26[illegible]6	36785
IO	142.9038	15504
IO_3	174.9026	24280
IO_4	190.9020	28081
In	114.818	06001
$In(C_9H_6ON)_3$ (8-羟基喹啉铟)	547.278	73821
$InCl_3$	221.178	34474
In_2O_3	277.638	44348
$InPO_4$	209.788	32178
Ir	192.217	28379
$IrCl_3$	298.575	47505
$IrCl_4$	334.028	52378
$IrCl_6$	404.933	60738
IrO_2	224.216	35067
$Ir(OH)_3$	243.239	38603
$Ir(OH)_4$	260.246	41538
IrS	224.283	35086
K	39.0983	59220
$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	474.3904	67614
$KAlSi_3O_8$	278.3315	44457
KBF_4	125.9029	10004
KBr	119.0023	07556
$KBrO_3$	167.0005	22272
$KC_2H_3O_2$	98.1429	99186
$K_2C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ (酒石酸钾)	235.2764	37158
$K(C_6H_5)_4B$	358.332	55429
$K_3C_6H_5O_7 \cdot H_2O$	324.412	51110
KCN	65.116	81371
K_2CO_3	138.206	14055
$K_2C_2O_4 \cdot H_2O$	184.231	26538

化学式	量 a	lg$a$ (尾数)
KCl	74.551	87248
$KClO_3$	122.549	08832
$KClO_4$	138.549	14162
$K_3[Co(NO_2)_6]$	452.268	65540
$K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	437.349	64082
K_2CrO_4	194.194	28823
$K_2Cr_2O_7$	294.188	46862
$KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	499.405	69845
KF	58.097	76418
$K_3[Fe(CN)_6]$	329.248	51752
$K_4[Fe(CN)_6]$	368.347	56626
$K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$	422.393	62572
$KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	503.256	70179
KH_2AsO_4	180.033	25535
K_2HAsO_4	218.124	33870
$KHC_4H_4O_6$ (酒石酸氢钾)	188.178	27457
$KHC_8H_4O_4$ (邻苯二酸氢钾)	204.224	31011
$KHCO_3$	100.116	00050
$KHC_2O_4 \cdot H_2O$	146.141	16477
$KH_3(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$	254.192	40516
KHF_2	78.103	89267
$KH(IO_3)_2$	389.912	59097
KH_2PO_2	104.087	01740
KH_2PO_4	136.086	13381
K_2HPO_4	174.176	24100
$KHSO_3$	120.170	07980
$KHSO_4$	136.170	13408
KI	166.003	22011
KI_3	419.812	62306
KIO_3	214.001	33042
KIO_4	230.000	36173
$KMnO_4$	158.034	19875
$KN(C_6H_2)_2(NO_2)_6$ (2,4,6,2′,4′,6′-六硝基二苯胺钾)	477.302	67879
KNO_2	85.104	92995
KNO_3	101.103	00477
$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	282.221	45059
K_2O	94.196	97403
$KOCN$	81.115	90910
KOH	56.106	74901
K_3PO_4	212.266	32688
K_2PtCl_6	486.00	68663
$KReO_4$	289.303	46135
K_2S	110.263	04243

化学式	量 a	lg$a$ (尾数)
$K_2S \cdot 5H_2O$	200.339	30177
$KSCN$	97.182	98759
K_2SO_3	158.261	19937
$K_2SO_3 \cdot 2H_2O$	194.291	28847
K_2SO_4	174.260	24120
$K_2S_2O_5$	222.326	34699
$K_2S_2O_7$	254.324	40539
$K_2S_2O_8$	270.324	43188
$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ (酒石酸锑钾)	333.928	52365
K_2SiF_6	220.273	34296
K_2TiF_6	240.067	38037
K_2WO_4	326.034	51328
La	138.905	14272
$La(C_2H_3O_2)_3 \cdot 1\frac{1}{2}H_2O$	343.062	53537
$LaCl_3 \cdot 7H_2O$	371.370	56981
LaF_3	195.900	29203
$La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	433.011	63650
La_2O_3	325.808	51296
$La_2(SO_4)_3$	566.000	75282
Li	6.941	84142
$LiBr$	86.845	93874
$Li_3C_6H_5O_7 \cdot 4H_2O$ (柠檬酸锂)	281.986	45023
Li_2CO_3	73.891	86857
$LiCl$	42.394	62730
LiF	25.939	41396
LiH	7.949	90031
LiI	133.845	12660
$LiI \cdot 3H_2O$	187.891	27391
$LiNO_3$	68.946	83851
$LiNO_3 \cdot 3H_2O$	122.992	08988
Li_2O	29.881	47540
$LiOH$	23.948	37928
Li_3PO_4	115.794	06369
Li_2SO_4	109.946	04118
$Li_2SO_4 \cdot H_2O$	127.961	10708
Mg	24.305	38570
$Mg_2As_2O_7$	310.449	49199
$MgBr_2$	184.113	26508
$MgBr_2 \cdot 6H_2O$	292.205	46569
$Mg(C_9H_6ON)_2$ (8-羟基喹啉镁)	312.611	49500
$Mg(C_9H_6ON)_2 \cdot 2H_2O$	348.642	54238
$MgCO_3$	84.314	92590
$MgCl_2$	95.211	97869
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	203.302	30814
$Mg(ClO_4)_2$	223.206	34871
$Mg(ClO_4)_2 \cdot 6H_2O$	331.298	52022

续表

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
MgF_2	62.302	79450
$Mg(HCO_3)_2$	146.340	16536
$MgNH_4AsO_4 \cdot 6H_2O$	289.354	46143
$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$	245.407	38988
$Mg(NO_3)_2$	148.315	17119
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	256.407	40893
MgO	40.304	60535
$Mg(OH)_2$	58.320	76582
$Mg_2P_2O_7$	222.553	34743
$MgSO_4$	120.369	08051
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.476	39177
$MgSiO_3$	100.389	00169
Mg_2SiO_4	140.694	14828
Mn	54.9381	73987
$Mn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$	245.0885	38932
$[Mn(C_5H_5N)_4](SCN)_2$	487.5111	68798
（硫氰酸二吡啶络锰）		
$MnCO_3$	114.9475	06050
$MnCl_2$	125.844	09983
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	197.9051	29646
$MnNH_4PO_4 \cdot H_2O$	185.956	26941
$Mn(NO_3)_2$	178.948	25273
$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	287.0397	45794
MnO	70.9375	85088
MnO_2	86.9369	93920
MnO_4	118.9357	07531
Mn_2O_3	157.8744	19831
Mn_3O_4	228.8119	35948
$Mn(OH)_2$	88.9528	94916
$Mn_2P_2O_7$	283.820	45304
MnS	87.0041	93954
$MnSO_4$	151.0017	17898
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	223.0628	34847
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	241.0781	38216
$MnSO_4 \cdot 7H_2O$	277.1087	44265
Mo	95.94	98200
MoO_3	143.94	15818
MoO_4	159.94	20396
$MoO_2(C_9H_5ON)_2$	416.25	61935
（8-羟基喹啉钼）		
MoS_2	160.07	20431

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
MoS_3	192.14	28360
N	14.0067	14634
NH	15.0147	17652
NH_2	16.0226	20473
NH_3	17.0306	23123
NH_4	18.0386	25620
N_2H_4	32.0453	50576
$N_2H_4 \cdot HCl$	68.506	83573
$N_2H_4 \cdot 2HCl$	104.967	02105
$N_2H_4 \cdot H_2O$	50.0606	69950
$N_2H_4 \cdot H_2SO_4$	130.1247	11436
NH_2OH	33.0262	51886
$NH_2OH \cdot HCl$	69.487	84190
$(NH_2OH)_2 \cdot H_2SO_4$	164.132	21519
NH_2SO_3H	97.0948	98720
$NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	453.333	65641
NH_4Br	97.948	99100
$NH_4C_2H_3O_2$	77.0836	88696
$(NH_4)_2CO_3$	96.0865	98266
$(NH_4)_2CO_3 \cdot H_2O$	114.102	05729
$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$	142.112	15263
$(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$	548.23	73896
$(NH_4)_4Ce(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	632.55	80109
NH_4Cl	53.492	72829
NH_4ClO_4	117.489	07000
$(NH_4)_2CrO_4$	152.071	18205
$(NH_4)_2Cr_2O_7$	252.065	40151
NH_4F	37.0370	56864
$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	482.196	68322
$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	392.143	59344
NH_4HCO_3	79.0559	89793
NH_4HF_2	57.0434	75621
$NH_4H_2PO_4$	115.026	06080
$(NH_4)_2HPO_4$	132.057	12076
NH_4HS	51.111	70851
NH_4HSO_4	115.110	06111
$(NH_4)_2[Hg(SCN)_4]$	469.00	67116
NH_4I	144.9430	16120
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	1235.9	09197
NH_4NO_2	64.0441	80648
NH_4NO_3	80.0435	90333
$NH_4NaHPO_4 \cdot 4H_2O$	209.069	32029
NH_4OH	35.0460	54464

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
$(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3$	1876.35	27330
$(NH_4)_2PdCl_6$	355.21	55049
$(NH_4)_2PtCl_6$	443.873	64726
$(NH_4)_2S$	68.143	83342
NH_4SCN	76.122	88150
$(NH_4)_2SO_3$	116.141	06499
$(NH_4)_2SO_4$	132.141	12104
$(NH_4)_2S_2O_8$	228.204	35832
$(NH_4)_2SiF_6$	178.154	25080
$(NH_4)_2SnCl_6$	367.503	56526
NH_4VO_3	116.979	06811
NO	30.0061	47721
NO_2	45.0055	66281
NO_3	62.0049	79243
N_2O	44.0128	64358
N_2O_3	76.0116	88088
N_2O_4	92.011	96384
N_2O_5	108.010	03346
Na	22.9898	36154
Na_3AlF_6	209.9413	32210
$NaAlSi_3O_8$	262.225	41867
$NaAsO_2$	129.9102	11364
$Na_3AsO_4 \cdot 12H_2O$	424.072	62744
$NaB(C_6H_5)_4$	342.229	53432
$NaBH_4$	37.833	57787
$NaBO_2 \cdot 4H_2O$	137.861	13944
$NaBO_3 \cdot 4H_2O$	153.860	18713
$Na_2B_4O_7$	201.219	30367
$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	381.372	58135
$NaBiO_3$	279.968	44711
$NaBr$	102.894	01239
$NaBr \cdot 2H_2O$	138.925	14278
$NaBrO_3$	150.892	17867
$NaC_2H_3O_2$	82.0348	91400
$NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$	136.081	13380
$Na_2C_4H_4O_6 \cdot 2H_2O$	230.082	36188
（酒石酸钠）		
$Na_3C_6H_5O_7 \cdot 5\frac{1}{2}H_2O$	357.155	55286
（柠檬酸钠）		
$Na_2C_8H_4O_4$	210.098	32242
（邻苯二酸钠）		
$NaCN$	49.0077	69026
Na_2CO_3	105.9890	02526
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	286.142	45658
$Na_2C_2O_4$	134.000	12710
$NaCl$	58.443	76673

续表

化学式	量 a	lg$a$(尾数)
$NaClO$	74.442	87182
$NaClO_3$	106.441	02711
$NaClO_4$	122.440	08792
$Na_3Co(NO_2)_6$	403.936	60631
Na_2CrO_4	161.973	20944
$Na_2CrO_4 \cdot 4H_2O$	234.035	36928
$Na_2Cr_2O_7$	261.967	41825
$NaCr_2O_7 \cdot 2H_2O$	297.998	47421
NaF	41.9882	62313
$Na_4F(CN)_6 \cdot 10H_2O$	484.07	68491
$Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$(亚硝基五氰络铁酸钠)	297.953	47415
Na_2HAsO_3	169.9074	23021
Na_2HAsO_4	185.907	26930
$Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$	312.014	49417
$Na_2HAsO_4 \cdot 12H_2O$	402.091	60432
$NaHC_4H_4O_6$ (酒石酸氢钠)	172.070	23571
$NaHC_8H_4O_4$ (邻苯二酸氢钠)	188.115	27443
$Na_2H_2C_{10}H_{12}O_8N_2$ (EDTA 二钠)	336.209	52661
$Na_2H_2C_{10}H_{12}O_8N_2 \cdot 2H_2O$(EDTA 二钠二水合物)	372.240	57082
$NaHCO_3$	84.0071	92432
$NaHC_2O_4$	112.018	04929
$NaHC_2O_4 \cdot H_2O$	130.033	11405
NaH_2PO_2	87.9783	94438
NaH_2PO_4	119.977	07910
$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	156.008	19315
Na_2HPO_4	141.959	15216
$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	177.990	25040
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	358.143	55406
$NaHS$	56.064	74868
$NaHSO_3$	104.062	01729
$NaHSO_4$	120.061	07940
$NaHSeO_3$	150.96	17886
NaI	149.8942	17578
$NaIO_3$	197.8924	29643
$NaIO_4$	213.892	33019
$NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ (酒石酸钠钾)	282.221	45059
$NaMg(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9 \cdot 6H_2O$	1496.871	17518
Na_2MoO_4	205.92	31370

化学式	量 a	lg$a$(尾数)
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	241.95	38373
NaN_3	65.0099	81298
$NaNH_2$	39.0124	59120
$NaNH_4HPO_4$	137.008	13675
$NaNH_4HPO_4 \cdot 4H_2O$	209.069	32029
$NaNO_2$	68.9953	83882
$NaNO_3$	84.9947	92939
Na_2O	61.9790	79224
Na_2O_2	77.9784	89197
$NaOH$	39.9972	60203
$NaPO_3$	101.9618	00844
Na_3PO_4	163.941	21469
$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	380.124	57993
$Na_4P_2O_7$	265.903	42472
$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$	446.056	64939
Na_2S	78.046	89235
$Na_2S \cdot 9H_2O$	240.183	38054
$NaSCN$	81.074	90888
Na_2SO_3	126.042	10051
$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$	252.151	40166
Na_2SO_4	142.043	15242
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	322.196	50812
$Na_2S_2O_3$	158.110	19896
$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	248.186	39478
$Na_2S_2O_4$	174.109	24082
$Na_2S_2O_4 \cdot 2H_2O$	210.14	32251
$Na_2S_2O_5$	190.108	27898
$Na_2S_2O_8$	238.107	37677
$Na_3SbS_4 \cdot 9H_2O$	481.121	68225
Na_2SeO_3	172.94	23790
Na_2SiF_6	188.056	27429
Na_2SiO_3	122.064	08659
$Na_2SnO_3 \cdot 3H_2O$	266.734	42608
$Na_2U_2O_7$	634.033	80211
$Na_2U_2O_7 \cdot 6H_2O$	742.1249	87048
$NaVO_3 \cdot 4H_2O$	193.991	28778
Na_2WO_4	293.80	46805
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	329.83	51829
$NaZn(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9 \cdot 6H_2O$	1537.96	18694
Nb	92.906	96804
$NbCl_5$	270.17	43164
Nb_2O_5	265.809	42457
Ni	58.69	76856
$Ni(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$	248.84	39592
$Ni(C_4H_7O_2N_2)_2$ (丁二酮肟镍)	288.91	46077

化学式	量 a	lg$a$(尾数)
$Ni(C_5H_5N)_4(SCN)_2$ (硫氰酸四吡啶络镍)	491.26	69131
$Ni(C_7H_6O_2N)_2$ (邻氨基苯甲酸镍)	330.95	51976
$Ni(C_9H_6ON)_2$ (8-羟基喹啉镍)	347.00	54032
$Ni(C_9H_6ON)_2 \cdot 2H_2O$	383.03	58323
$NiCO_3$	118.70	07445
$Ni(CO)_4$	170.73	23232
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	237.69	37601
$NiCl_2$	129.60	11261
$Ni(NO_3)_2$	182.70	26174
$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	290.79	46358
$Ni(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	395.08	59668
NiO	74.69	87336
Ni_2O_3	165.40	21854
$Ni_2P_2O_7$	291.32	46437
NiS	90.76	95788
$NiSO_4$	154.75	18964
$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	280.86	44849
O	15.9994	20410
OCH_3	31.0345	49184
OC_2H_5	45.0616	65381
OCN	42.0173	62343
OH	17.0074	23064
Os	190.23	27928
$OsCl_4$	332.03	52118
OsO_2	222.23	34680
OsO_4	254.23	40513
P	30.9738	49099
PBr_3	270.686	43247
PCl_3	137.333	13777
PCl_5	208.24	31856
PH_3	33.9976	53145
PO_2	62.9726	79915
PO_3	78.9720	89747
PO_4	94.9714	97759
P_2O_3	109.9458	04118
P_2O_5	141.945	15212
P_2O_7	173.943	24041
$POCl_3$	153.332	18563
$P_2O_5 \cdot 24MoO_3$	3596.5	55588
Pb	207.2	31639

续表

化学式	量 a	lga（尾数）
$PbBr_2$	367.00	56467
$Pb(C_2H_3O_2)_2$	325.29	51227
$Pb(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$	379.34	57902
$Pb(C_2H_5)_4$	323.45	50980
$Pb(C_7H_4NS_2) \cdot OH$（氢氧化巯基苯并噻唑铅）	390.45	59157
$Pb(C_7H_6O_2N)_2$（邻氨基苯甲酸铅）	479.46	68075
$Pb(C_{10}H_7O_5N_4)_2 \cdot 1\frac{1}{2}H_2O$（苦酮酸铅）	760.60	88116
$Pb(C_{12}H_{10}ONS)_2$（巯乙酰替萘胺铅）	639.77	80602
$PbCO_3$	267.21	42685
$PbCl_2$	278.11	44421
$PbCl_4$	349.01	54284
$PbClF$	261.65	41772
$PbCrO_4$	323.19	50946
PbF_2	245.20	38951
PbI_2	461.01	66371
$PbMoO_4$	367.14	56483
$Pb(NO_3)_2$	331.21	52010
PbO	223.20	34869
PbO_2	239.20	37876
Pb_3O_4	685.60	83607
$Pb(OH)_2$	241.21	38240
PbS	239.27	37888
$PbSO_3$	287.26	45828
$PbSO_4$	303.26	48182
$PbWO_4$	455.02	65803
Pd	106.42	02694
$Pd(C_4H_7O_2N_2)_2$（丁二酮肟钯）	336.64	52717
$Pd(C_7H_6O_2N)_2$（水杨醛肟或邻氨基苯甲酸钯）	378.68	57827
$Pd(C_9H_6ON)_2$（8-羟基喹啉钯）	394.73	59630
$Pd(CN)_2$	158.46	19991
$PdCl_2$	177.33	24877
$PdCl_2 \cdot 2H_2O$	213.36	32910
$PdCl_4$	248.23	39486
$PdCl_6$	319.14	50398
PdI_2	360.23	55658
$Pd(NO_3)_2$	230.43	36254
PdO	122.42	08785

化学式	量 a	lga（尾数）
PdS	138.49	14141
$PdSO_4$	202.48	30639
$PdSO_4 \cdot 2H_2O$	238.51	37751
Pt	195.08	29024
$PtCl_4$	336.89	52749
$PtCl_6$	407.80	61044
PtS	227.15	35631
Rb	85.4678	93180
$RbAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	520.7599	71664
Rb_2CO_3	230.9448	36351
$RbCl$	120.9205	08250
$RbClO_4$	184.9181	26698
RbI	212.3723	32710
$RbNO_3$	147.4727	16871
Rb_2O	186.935	27169
Rb_2PtCl_6	578.7318	76248
Rb_2SO_4	266.9992	42651
Re	186.207	26999
$ReCl_3$	292.565	46622
$ReCl_5$	363.471	56045
ReO_2	218.206	33887
ReO_3	234.205	36960
ReO_4	250.205	39830
Re_2O_7	484.410	68521
Rh	102.9055	01244
$RhCl_3$	209.2636	32069
RhO_2	134.9043	13003
Rh_2O_3	253.8092	40451
Ru	101.07	00462
RuO_4	165.07	21767
S	32.066	50602
SCN	58.084	76405
SH	33.074	51949
SO_2	64.065	80662
SO_3	80.064	90344
SO_3H	81.072	90887
SO_3Na	103.054	01306
SO_4	96.064	98256
S_2O_3	112.130	04972
S_2O_4	128.130	10765
S_2O_7	176.128	24583
S_2O_8	192.127	28359
S_4O_6	224.260	35075

化学式	量 a	lga（尾数）
Sb	121.75	08547
$SbC_6H_5O_4$（焦棓酸锑）	262.85	41971
$Sb(C_9H_6ON)_3$（8-羟基喹啉锑）	554.21	74367
$Sb(C_{12}H_{10}ONS)_3$（巯乙酰替萘胺锑）	770.60	88683
$SbCl_3$	228.11	35814
$SbCl_5$	299.02	47570
SbI_3	502.46	70110
$SbOCl$	173.20	23855
Sb_2O_3	291.50	46464
Sb_2O_5	323.50	50987
SbS_4	250.01	39796
Sb_2S_3	339.70	53108
Sb_2S_5	403.83	60620
Sc	44.9559	65279
Sc_2O_3	137.9100	13960
Se	78.96	89741
SeO_2	110.96	04517
SeO_3	126.96	10367
SeO_4	142.96	15521
Si	28.086	44849
SiC	40.097	60311
$SiCl_4$	169.90	23019
SiF_4	104.080	01737
SiF_6	142.076	15252
SiH_4	32.118	50675
SiO_2	60.085	77877
SiO_3	76.084	88129
SiO_4	92.084	96418
Si_2O_7	168.168	22574
Si_3O_8	212.253	32685
Sn	118.710	07449
$SnCl_2$	189.615	27787
$SnCl_2 \cdot 2H_2O$	225.646	35343
$SnCl_4$	260.521	41584
SnO	134.709	12940
SnO_2	150.709	17814
SnS	150.776	17833
SnS_2	182.842	26208
SnS_3	214.908	33225
Sr	87.62	94260
$Sr(C_2H_3O_2)_2 \cdot \frac{1}{2}H_2O$	214.72	33187

续表

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
SrC_2O_4	175.64	24462
$SrC_2O_4 \cdot H_2O$	193.66	28704
$SrCO_3$	147.63	16917
$SrCl_2$	158.53	20011
$SrCl_2 \cdot 6H_2O$	266.62	42589
$SrCrO_4$	203.61	30880
$Sr(NO_3)_2$	211.63	32558
$Sr(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	283.69	45284
SrO	103.62	01544
$Sr(OH)_2$	121.63	08504
$Sr(OH)_2 \cdot 8H_2O$	265.76	42449
$SrSO_3$	167.68	22448
$SrSO_4$	183.68	26406
SrS_2O_3	199.75	30049
Ta	180.9479	25755
$TaCl_5$	358.2114	55414
Ta_2O_5	411.8928	61532
Te	127.60	10585
TeO_2	159.60	20303
TeO_3	175.60	24452
TeO_4	191.60	28240
Th	232.0381	36556
$Th(C_9H_6ON)_4$	808.655	90776
（8-羟基喹啉钍）		
$Th(C_9H_6ON)_4 \cdot (C_9H_7ON)$	953.817	97947
$Th(C_{10}H_7O_5N)_4 \cdot H_2O$（苦酮酸钍）	1302.818	11488
$Th(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O$	516.170	71279
$ThCl_4$	373.850	57270
$Th(NO_3)_3$	480.058	68129
$Th(NO_3)_4 \cdot 4H_2O$	552.119	74203
$Th(NO_3)_4 \cdot 12H_2O$	696.242	84276
ThO_2	264.037	42166
$Th(SO_4)_2$	424.165	62754
$Th(SO_4)_2 \cdot 9H_2O$	586.303	76812
Ti	47.88	68015
$TiCl_3$	154.24	18819
$TiCl_4$	189.69	27805
$TiO(C_9H_6ON)_2$	352.19	54677
（8-羟基喹啉氧钛）		
TiO_2	79.88	90243
$(TiO)_2P_2O_7$	301.70	47958
$TiOSO_4$	159.94	20397
Tl	204.3833	31042
$TlBr$	284.287	45376

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
$TlC_7H_4NS_2$（巯基苯并噻唑硫醇铊）	370.631	56894
$TlC_{12}H_{10}ONS$（巯乙酰替萘胺铊）	420.667	62393
$TlCl$	239.836	37991
Tl_2CrO_4	524.760	71996
TlI	331.288	52021
$TlNO_3$	266.388	42551
Tl_2O	424.766	62815
Tl_2O_3	456.765	65969
$TlOH$	221.391	34516
Tl_2PtCl_6	816.563	91199
Tl_2S	440.833	64427
Tl_2SO_4	504.830	70315
U	238.0289	37663
UCl_4	379.8397	57960
UF_4	314.0225	49696
UF_6	352.0193	54657
UO_2	270.0277	43141
UO_3	286.0271	45641
UO_4	302.0265	48005
U_3O_8	842.0819	92535
$UO_2(C_2H_3O_2)_2$	388.1169	58896
$UO_2(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$	424.1475	62752
$UO_2(C_9H_6ON)_2 \cdot (C_9H_7ON)$（8-羟基喹啉氧铀）	703.4740	84725
$UO_2(NO_3)_2$	394.0375	59554
$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	502.1292	70082
$(UO_2)_3NaMg \cdot (C_2H_3O_2)_9 \cdot 6H_2O$	1496.8710	17518
$(UO_2)_3NaZn \cdot (C_2H_3O_2)_9 \cdot 6H_2O$	1537.956	18694
$(UO_2)_2P_2O_7$	713.9987	85370
UO_2SO_4	366.0913	56359
$UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$	420.1371	62339
V	50.9415	70708
VCl_4	192.7523	28500
VO	66.941	82569
$VOCl_2$	137.847	13940
VO_2	82.941	91877
VO_3	98.940	99537
VO_4	114.940	06047
V_2O_3	149.882	17575
$V_2O_3(C_9H_6ON)_4$（8-羟基喹啉氧钒）	726.492	86123
V_2O_5	181.881	25979
W	183.84	26444

化学式	量 a	$\lg a$（尾数）
WC	195.85	29192
WCl_5	361.11	55764
$WO_2(C_9H_6ON)_2$（8-羟基喹啉氧钨）	504.15	70256
WO_3	231.84	36521
WO_4	247.84	39419
Y	88.906	94893
Y_2O_3	225.820	35376
Zn	65.39	81538
$Zn(C_2H_3O_2)_2$	183.48	26359
$Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$	219.51	34145
$Zn(C_5H_5N)_2(SCN)_2$（硫氰化二吡啶络锌）	339.76	53117
$Zn(C_7H_6O_2N)_2$（邻氨基苯甲酸锌）	337.65	52847
$Zn(C_9H_6ON)_2$（8-羟基喹啉锌）	353.70	54863
$Zn(C_{10}H_6O_2N)_2 \cdot H_2O$（喹哪啶酸锌）	427.73	63117
$Zn(CN)_2$	117.43	06976
$ZnCO_3$	125.40	09829
$ZnCl_2$	136.30	13448
$Zn[Hg(SCN)_4]$	498.31	69750
$ZnNH_4PO_4$	178.40	25139
$Zn(NO_3)_2$	189.40	27738
$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	297.49	47347
ZnO	81.39	91057
$Zn(OH)_2$	99.40	99741
$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	458.18	66103
$Zn_2P_2O_7$	304.72	48391
ZnS	97.43	98881
$ZnSO_4$	161.46	20805
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	287.56	45873
Zr	91.224	96011
$Zr(C_9H_6ON)_4$（8-羟基喹啉锆）	667.835	82467
$ZrCl_4$	233.035	36742
$Zr(NO_3)_4$	339.244	53051
$Zr(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$	429.320	63278
ZrO_2	123.223	09069
$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$	322.251	50819
ZrP_2O_7	265.167	42352
$Zr(SO_4)_2$	283.3512	45233
$Zr(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$	355.4123	55073
$ZrSiO_4$	183.307	26318

第四节　离子的基本参数

一、离子半径

表 1-39　结晶离子半径

结晶离子半径指晶体中正负离子的接触半径。即把离子晶体中正负离子看成相互接触的圆球，正负离子中心间的距离就等于正负离子半径的和，$d=r_1+r_2$，d 可通过晶体 X 射线分析实验加以测量，然后计算正负离子的半径。表中所列数据是按晶格的配位数为 6 的离子半径，对其他配位数可按下表加以校正：

配　位　数	4	6	8	9	12
离子半径校正因数	0.94	1.00	1.03	1.05	1.12

表中按元素符号顺序排列。

元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$
Ac	+3	1.11	CN^-	−1	1.92	F	−1	1.36
Ag	+1	1.26	Ca	+2	0.99		+7	0.07
	+2	0.97	Cd	+1	1.14	Fe	+2	0.76
Al	+3	0.50		+2	0.97		+3	0.64
Am	+3	0.99	Ce	+1	1.69	Fm	+2	1.15
	+4	0.89		+3	1.03		+3	0.97
	+5	0.86		+4	0.92		+4	0.84
	+6	0.80	Cf	+2	1.17	Fr	+1	1.76
Ar	+1(气体)	1.54		+3	0.98	Ga	+3	0.62
As	−3	2.22		+4	0.86	Gd	+3	0.94
	+3	0.58	Cl	−1	1.81	Ge	−4	2.72
	+5	0.47		+5	0.34		+2	0.70
At	−1	2.27		+7	0.26		+4	0.53
	+5	0.57	ClO_4^-	−1	2.36	H	−1	2.08
	+7	0.51	Co	+2	0.74	He	+1	10^{-5}
Au	+1	1.37		+3	0.63		+1(气体)	0.93
	+2	1.05	Cr	+1	0.81	Hf	+4	0.78
	+3	0.91		+2	0.84	Hg	+1	1.27
B	+1	0.35		+3	0.64		+2	1.10
	+3	0.20		+4	0.56	Ho	+3	0.89
BF_4^-	−1	2.28		+6	0.52	I	−1	2.16
Ba	+2	1.35	CrO_4^{2-}	−2	3.00		+5	0.62
Be	−1	1.95	Cm	+2	1.19		+7	0.50
	+2	0.31		+3	0.99	In	+1	1.32
Bi	−3	2.13		+4	0.88		+3	0.81
	+3	0.96	Cs	+1	1.69	Ir	+2	0.89
	+5	0.74	Cu	+1	0.96		+3	0.75
Bk	+2	1.18		+2	0.72		+4	0.64
	+3	0.98	Dy	+3	0.91		+6	0.56
	+4	0.87	Er	+3	0.88	K	+1	1.33
Br	−1	1.96	Es	+2	1.16	Kr	+1(气体)	1.69
	+5	0.47		+3	0.98	La	+3	1.06
	+7	0.39		+4	0.85	Li	+1	0.68
C	−4	2.60	Eu	+2	1.12	Lr	+2	1.12
	+4	0.15		+3	0.95		+3	0.94

续表

元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$	元素	离子电荷	离子半径 $d/(10^{-10}m)$
	+4	0.83		+5	0.90	SiO_4^{4-}	−4	2.90
Lu	+3	0.85	Pb	−4	2.15	Sm	+2	1.11
Md	+2	1.14		+2	1.20		+3	0.96
	+3	0.96		+4	0.84	Sn	−4	2.94
	+4	0.84	Pd	+2	0.86		−1	3.70
Mg	+2	0.65		+4	0.64		+2	1.02
Mn	+2	0.80	Pm	+3	0.98		+4	0.71
	+3	0.62	Po	−2	2.30	Sr	+2	1.13
	+4	0.54		+4	0.65	Ta	+5	0.7
	+7	0.46		+6	0.56	Tb	+3	0.92
Mo	+4	0.66	Pr	+3	1.01		+4	0.84
	+6	0.62		+4	0.90	Tc	−2	0.95
MoO_4^{2-}	−2	3.45	Pt	+2	0.85		+4	0.72
N	−3	1.71		+4	0.70		+7	0.58
	+1	0.25	Pu	+3	1.00	Te	−2	2.21
	+3	0.13		+4	0.90		−1	2.50
	+5	0.11		+5	0.87		+4	0.81
NH_4^+	+1	1.59		+6	0.81		+6	0.56
NO_3^-	−1	1.89	Ra	+2	1.40	Th	+3	1.08
Na	+1	0.95	Rb	+1	1.48		+4	0.99
Nb	+4	0.74	Re	+4	0.72	Ti	+1	0.96
	+5	0.70		+6	0.61		+2	0.90
Nd	+3	1.00		+7	0.60		−3	0.77
Ni	+2	0.72	Rh	+2	0.86		+4	0.68
	+3	0.62		+3	0.75	Tl	+1	1.44
No	+2	1.13		+4	0.67		+3	0.95
	+3	0.95	Ru	+3	0.77	Tm	+3	0.94
	+4	0.83		+4	0.63		+4	0.87
Np	+3	1.01		+8	0.54	U	+3	1.03
	+4	0.92	S	−2	1.84		+4	0.93
	+5	0.88		−1	2.19		+5	0.87
	+6	0.82		+4	0.37		+6	0.83
O	−2	1.40		+6	0.29	V	+2	0.88
	−1	1.76	SH^-		2.00		+3	0.74
	+1	0.22	SO_4^{2-}		2.95		+4	0.60
	+6	0.09	HSO_4^-		2.06		+5	0.59
OH^-	−1	1.53;1.33	Sb	−3	2.45	W	+4	0.68
Os	+2	0.89		+3	0.90		+6	0.65
	+3	0.81		+5	0.62	Xe	+1(气体)	1.90
	+4	0.65	Sc	+3	0.81	Y	+3	0.93
	+6	0.6	Se	−2	1.98	Yb	+2	1.13
	+8	0.53		−1	2.32		+3	0.86
P	−3	2.12		+4	0.69	Zn	+1	0.88
	+3	0.42		+6	0.42		+2	0.74
	+5	0.34	Si	−4	2.71	Zr	+1	1.09
PO_4^{3-}		3.00		−1	3.84		+4	0.79
Pa	+3	1.05		+1	0.65			
	+4	0.96		+4	0.41			

表 1-40　水溶液中离子的有效半径

表中列出在 25℃有关水溶液中离子半径的近似有效数值。

离子半径 $d/(10^{-10}m)$	无　机　离　子
2.5	Rb^+、Cs^+、NH_4^+、Tl^+、Ag^+
3	K^+、Cl^-、Br^-、I^-、CN^-、NO_2^-、NO_3^-
3.5	OH^-、F^-、NCS^-、NCO^-、HS^-、ClO_3^-、ClO_4^-、BrO_3^-、IO_4^-、MnO_4^-
4	Na^+、$CdCl^+$、Hg_2^{2+}、ClO_2^-、IO_3^-、HCO_3^-、$H_2PO_4^-$、HSO_3^-、$H_2AsO_4^-$、SO_4^{2-}、$S_2O_3^{2-}$、$S_2O_8^{2-}$、SeO_4^{2-}、CrO_4^{2-}、HPO_4^{2-}、$S_2O_6^{2-}$、PO_4^{3-}、$[Fe(CN)_6]^{3-}$、$[Cr(NH_3)_6]^{3+}$、$[Co(NH_3)_6]^{3+}$、$[Co(NH_3)_5H_2O]^{3+}$
4.5	Pb^{2+}、CO_3^{2-}、SO_3^{2-}、MoO_4^{2-}、$[Co(NH_3)_5Cl]^{2+}$、$[Fe(CN)_5NO_2]^{2-}$
5	Sr^{2+}、Ba^{2+}、Ra^{2+}、Cd^{2+}、Hg^{2+}、S^{2-}、$S_2O_4^{2-}$、WO_4^{2-}、$[Fe(CN)_6]^{4-}$
6	Li^+、Ca^{2+}、Cu^{2+}、Zn^{2+}、Sn^{2+}、Mn^{2+}、Fe^{2+}、Ni^{2+}、Co^{2+}、$[Co(en)_3]^{3+}$、$[Co(S_2O_3)(CN)_6]^{4-}$
8	Mg^{2+}、Be^{2+}
9	H^+、Al^{3+}、Fe^{3+}、Cr^{3+}、Sc^{3+}、Y^{3+}、La^{3+}、In^{3+}、Ce^{3+}、Pr^{3+}、Nd^{3+}、Sm^{3+}、$[Co(SO_3)_2(CN)_4]^{5-}$
11	Th^{4+}、Zr^{4+}、Ce^{4+}、Sn^{4+}
离子半径 $d/(10^{-10}m)$	有　机　离　子
3.5	$HCOO^-$、$CH_3NH_3^+$、$[(CH_3)_2NH_2]^+$、H_2Cit^-①
4	$NH_3^+CH_2COOH$、$(CH_3)_3NH^+$、$C_2H_5NH_3^+$
4.5	CH_3COO^-、CH_2ClCOO^-、$(CH_3)_4N^+$、$(C_2H_5)_3NH_2^+$、$NH_2CH_2COO^-$、$(COO)_2^{2-}$、$HCit^{2-}$
5	$CHCl_2COO^-$、CCl_3COO^-、$(C_2H_5)_3NH^+$、$(C_3H_7)NH_3^+$、$H_2C(COO)_2^{2-}$、$(CH_2COO)_2^{2-}$、$(CHCHCOO)_2^{2-}$、Cit^{3-}、
6	$C_6H_5COO^-$、$C_6H_4OHCOO^-$、$ClC_6H_4COO^-$、$C_6H_5CH_2COO^-$、$CH_2=CHCH_2COO^-$、$(CH_3)_2C=CHCOO^-$、$(C_2H_5)_4N^+$、$(C_3H_7)_2NH_2^+$、$C_6H_4(COO)_2^{2-}$、$H_2C(CH_2COO)_2^{2-}$、$(CH_2CH_2COO)_2^{2-}$
7	$[OC_6H_2(NO_2)_3]^-$、$(C_3H_7)_3NH^+$、$CH_3OC_6H_4COO^-$、$OOC(CH_2)_5COO^{2-}$、$OOC(CH_2)_6COO^{2-}$
8	$(C_6H_5)_2CHCOO^-$、$(C_3H_7)_4N^+$

① Cit——柠檬酸根。

二、各种离子的活度系数

活度系数 f 的大小是表示电解质溶液中离子间互相牵制作用，对稀溶液中活度系数只与溶液的离子的强度有关。离子强度是代表溶液中电场强弱的尺度，它与离子浓度、离子电荷的关系是：

$$I=\frac{1}{2}\ (m_1z_1^2+m_2z_2^2+\cdots\cdots+m_nz_n^2)$$

$$I=\frac{1}{2}\Sigma m_iz_i^2$$

其中 I 代表离子强度（单位是 $mol\cdot kg^{-1}$）；m_1、m_2……m_n 代表溶液中各离子的质量摩尔浓度；z_1、z_2……z_n 代表各离子的电荷数。在稀溶液中，质量摩尔浓度可视为与物质的量浓度相等，故在计算时可直接以物质的量浓度代入。

表 1-41　各种离子在不同离子强度溶液中的活度系数

无机离子 \ 活度系数 f \ 离子强度 $I/(mol\cdot kg^{-1})$	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
H^+	0.975	0.967	0.950	0.933	0.914	0.88	0.86	0.83
Li^+	0.975	0.965	0.948	0.929	0.97	0.87	0.835	0.80
Rb^+、Cs^+、NH_4^+、Ag^+、Tl^+	0.975	0.964	0.945	0.924	0.898	0.85	0.80	0.75
K^+、Cl^-、Br^-、I^-、CN^-、NO_2^-、NO_3^-	0.975	0.964	0.945	0.925	0.899	0.85	0.805	0.755

续表

活度系数 f \ 离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$ 无机离子	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
OH^-、F^-、HS^-、ClO_3^-、ClO_4^-、BrO_3^-、IO_4^-、MnO_4^-、OCN^-、SCN^-	0.975	0.964	0.946	0.926	0.900	0.855	0.81	0.76
Na^+、$CdCl^+$、ClO_2^-、IO_3^-、HCO_3^-、$H_2PO_4^-$、HSO_3^-、$H_2AsO_3^-$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.902	0.86	0.82	0.775
Hg_2^{2+}、SO_4^{2-}、$S_2O_3^{2-}$、$S_4O_6^{2-}$、$S_2O_8^{2-}$、SeO_4^{2-}、CrO_4^{2-}、HPO_4^{2-}	0.903	0.867	0.803	0.740	0.660	0.545	0.445	0.355
Pb^{2+}、CO_3^{2-}、SO_3^{2-}、MoO_4^{2-}	0.903	0.848	0.805	0.742	0.665	0.55	0.455	0.37
Sn^{2+}、Pa^{2+}、Ra^{2+}、Cd^{2+}、Hg^{2+}、S^{2-}、$S_2O_4^{2-}$、WO_4^{2-}	0.903	0.868	0.805	0.744	0.67	0.555	0.465	0.38
Ca^{2+}、Cu^{2+}、Zn^{2+}、Sn^{2+}、Mn^{2+}、Fe^{2+}、Ni^{2+}、Co^{2+}	0.905	0.870	0.809	0.749	0.675	0.57	0.485	0.405
Mg^{2+}、Be^{2+}	0.906	0.872	0.813	0.755	0.69	0.595	0.52	0.45
PO_4^{3-}、$[Fe(CN)_6]^{3-}$	0.796	0.725	0.612	0.505	0.395	0.25	0.16	0.095
Al^{3+}、Fe^{3+}、Cr^{3+}、Sc^{3+}、Y^{3+}、La^{3+}、In^{3+}、Ce^{3+}、Pr^{3+}、Nd^{3+}、Sm^{3+}	0.802	0.738	0.432	0.54	0.445	0.325	0.245	0.18
$[Fe(CN)_6]^{4-}$	0.468	0.57	0.425	0.31	0.20	0.10	0.048	0.021
Th^{4+}、Zr^{4+}、Ce^{4+}、Sn^{4+}	0.678	0.588	0.455	0.35	0.255	0.155	0.10	0.065

活度系数 f \ 离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$ 有机离子	0.0005	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
$HCOO^-$、$H_2C_6H_5O_7^-$、$CH_3NH_3^+$、$(CH_3)_2NH_2^+$	0.975	0.964	0.946	0.926	0.900	0.855	0.81	0.76
$^-OOCCH_2NH_3^+$、$(CH_3)_3NH^+$、$C_2H_5NH_3^+$	0.975	0.964	0.947	0.927	0.901	0.855	0.815	0.77
CH_3COO^-、$(CH_3)_4N^+$、CH_2ClCOO^-、$NH_2CH_2COO^-$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.902	0.86	0.82	0.775
$CHCl_2COO^-$、CCl_3COO^-、$(C_2H_5)_3NH^+$、$C_3H_7NH_3^+$	0.975	0.964	0.947	0.928	0.904	0.865	0.83	0.79
$C_6H_5COO^-$、$C_6H_4OHCOO^-$、	0.975	0.965	0.948	0.929	0.907	0.87	0.835	0.80
$C_6H_4ClCOO^-$、$C_6H_5CH_2COO^-$、								
$H_2C{=}CHCH_2COO^-$、$(C_2H_5)_4N^+$、								
$(CH_3)_2C{=}CHCOO^-$、$(C_3H_7)_2NH_2^+$								
$[OC_6H_2(NO_2)_3]^-$、$(C_3H_7)_3NH^+$	0.975	0.965	0.948	0.930	0.909	0.875	0.845	0.84
$(COO)_2^{2-}$、$HC_6H_5O_7^{2-}$(葡萄糖酸根)	0.903	0.867	0.804	0.741	0.662	0.55	0.45	0.36
$H_2C(COO)_2^{2-}$、$(CH_2COO)_2^{2-}$、$(CHOHCOO)_2^{2-}$	0.903	0.868	0.805	0.744	0.67	0.555	0.465	0.38
$C_6H_4(COO)_2^{2-}$、$H_2C(CH_2COO)_2^{2-}$、$CH_2CH_2(COO)_2^{2-}$	0.905	0.870	0.809	0.749	0.675	0.57	0.485	0.405
$C_6H_5O_7^{3-}$(葡萄糖酸根)	0.794	0.728	0.616	0.51	0.405	0.27	0.18	0.115

表 1-42　各种离子在离子强度值大的溶液中的活度系数

表中所列$-\lg f_i/z_i^2$的函数值是根据台维斯经验式在 25℃高强度值时计算出来的。

$$-\frac{\lg_{10} f_i}{z_i^2}=\frac{0.511\sqrt{I}}{1+1.5\sqrt{I}}-0.2I$$

其中 I 代表离子强度；f_i 代表离子活度系数；z_i 代表离子电荷数，数值从 1～6。

离子强度 I/（mol·kg⁻¹）	$-\frac{\lg f_i}{z_i^2}$	离子电荷 z_i 值时的活度系数 f_i					
		1	2	3	4	5	6
0.05	0.0756	0.840	0.498	0.209	0.0617	0.0129	0.00190
0.1	0.896	0.814	0.438	0.156	0.0369	0.00576	0.000595
0.2	0.968	0.800	0.410	0.138	0.0283	0.00380	0.000328
0.3	0.936	0.806	0.422	0.144	0.0318	0.00457	0.000427
0.4	0.858	0.821	0.454	0.169	0.0424	0.00716	0.000815
0.5	0.0753	0.841	0.500	0.210	0.0624	0.0131	0.00195
0.6	0.0631	0.865	0.559	0.270_5	0.0978	0.0265	0.00535
0.7	0.0496	0.892	0.633	0.358	0.161	0.0575_5	0.0164
0.8	0.0352	0.922	0.723	0.482	0.273	0.132	0.0541
0.9	0.0201	0.955	0.831	0.659	0.477	0.314	0.189
1.0	0.0044	0.990	0.960	0.913	0.850	0.776	0.694

表 1-43　酸、碱、盐的平均活度系数（25℃）

化　学　式	c/（mol·L⁻¹）									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$AgNO_3$	0.734	0.657	0.606	0.567	0.536	0.509	0.485	0.464	0.446	0.429
$AlCl_3$	0.337	0.305	0.302	0.313	0.331	0.356	0.388	0.429	0.479	0.539
$Al_2(SO_4)_3$	0.035	0.0225	0.0176	0.0153	0.0143	0.0140	0.0142	0.0149	0.0159	0.0175
$BaCl_2$	0.500	0.444	0.419	0.405	0.397	0.391	0.391	0.391	0.392	0.395
$Ba(ClO_4)_2$	0.524	0.481	0.464	0.459	0.462	0.469	0.477	0.487	0.500	0.513
$BeSO_4$	0.150	0.109	0.0885	0.0759	0.0692	0.0639	0.0600	0.0570	0.0546	0.0530
$CaCl_2$	0.518	0.472	0.455	0.448	0.448	0.453	0.460	0.470	0.484	0.500
$Ca(ClO_4)_2$	0.557	0.532	0.532	0.544	0.564	0.589	0.618	0.654	0.695	0.743
$CdCl_2$	0.2280	0.1638	0.1329	0.1139	0.1006	0.0905	0.0827	0.0765	0.0713	0.0669
$Cd(NO_3)_2$	0.513	0.464	0.442	0.430	0.425	0.423	0.423	0.425	0.428	0.433
$CdSO_4$	0.150	0.103	0.0822	0.0699	0.0615	0.0553	0.0505	0.0468	0.0438	0.0415
$CoCl_2$	0.522	0.479	0.463	0.459	0.462	0.470	0.479	0.492	0.511	0.531
$CrCl_3$	0.331	0.298	0.294	0.300	0.314	0.335	0.362	0.397	0.436	0.481
$Cr(NO_3)_3$	0.319	0.285	0.279	0.281	0.291	0.304	0.322	0.344	0.371	0.401
$Cr_2(SO_4)_3$	0.458	0.0300	0.0238	0.0207	0.0190	0.0182	0.0181	0.0185	0.0194	0.0208
CsBr	0.754	0.694	0.654	0.626	0.603	0.506	0.571	0.558	0.547	0.530
CsCl	0.756	0.694	0.656	0.628	0.606	0.589	0.575	0.563	0.553	0.544
CsI	0.754	0.692	0.651	0.621	0.599	0.581	0.567	0.554	0.543	0.533
$CsNO_3$	0.733	0.655	0.602	0.561	0.528	0.501	0.478	0.458	0.439	0.422
CsOH	0.795	0.761	0.744	0.739	0.739	0.742	0.748	0.754	0.762	0.771
CsAc	0.799	0.771	0.761	0.759	0.762	0.768	0.776	0.783	0.792	0.802
Cs_2SO_4	0.456	0.382	0.338	0.311	0.291	0.274	0.262	0.251	0.242	0.235
$CuCl_2$	0.510	0.457	0.431	0.419	0.413	0.411	0.411	0.412	0.415	0.419
$Cu(NO_3)_2$	0.512	0.461	0.440	0.430	0.427	0.428	0.432	0.438	0.446	0.456
$CuSO_4$	0.150	0.104	0.083	0.070	0.062	0.056	0.051	0.048	0.045	0.042
$FeCl_2$	0.520	0.475	0.456	0.450	0.452	0.456	0.465	0.475	0.490	0.508
HBr	0.805	0.782	0.777	0.781	0.789	0.801	0.815	0.832	0.850	0.871
HCl	0.796	0.767	0.756	0.755	0.757	0.763	0.772	0.783	0.795	0.809

续表

化学式	$c/(mol \cdot L^{-1})$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$HClO_4$	0.803	0.778	0.768	0.766	0.769	0.776	0.785	0.795	0.808	0.823
HI	0.818	0.807	0.811	0.823	0.839	0.860	0.883	0.908	0.935	0.963
HNO_3	0.791	0.754	0.735	0.725	0.720	0.717	0.717	0.718	0.721	0.724
H_2SO_4	0.246	0.209	0.183	0.167	0.156	0.148	0.142	0.137	0.134	0.132
KBr	0.772	0.722	0.693	0.673	0.657	0.646	0.636	0.629	0.622	0.617
KCl	0.770	0.718	0.688	0.666	0.649	0.637	0.626	0.618	0.610	0.604
$KClO_3$	0.749	0.681	0.635	0.599	0.568	0.541	0.518	—	—	—
K_2CrO_4	0.456	0.382	0.340	0.313	0.292	0.276	0.263	0.253	0.243	0.235
KF	0.775	0.727	0.700	0.682	0.670	0.661	0.654	0.650	0.646	0.645
$K_3Fe(CN)_5$	0.268	0.212	0.184	0.167	0.155	0.146	0.140	0.135	0.131	0.128
$K_4Fe(CN)_5$	0.139	0.0993	0.0808	0.0693	0.0614	0.0556	0.0512	0.0479	0.0454	—
KH_2PO_4	0.731	0.653	0.602	0.561	0.529	0.501	0.477	0.456	0.438	0.421
KI	0.778	0.733	0.707	0.689	0.676	0.667	0.660	0.654	0.649	0.645
KNO_3	0.739	0.663	0.614	0.576	0.545	0.519	0.496	0.476	0.459	0.443
KOH	0.776	0.739	0.721	0.713	0.712	0.712	0.715	0.721	0.728	0.735
KAc	0.796	0.766	0.754	0.750	0.751	0.754	0.759	0.766	0.774	0.783
KSCN	0.769	0.716	0.685	0.663	0.646	0.633	0.623	0.614	0.606	0.599
K_2SO_4	0.436	0.356	0.313	0.283	0.261	0.243	0.229			
KCH_3CO_2	0.796	0.766	0.754	0.750	0.751	0.754	0.759	0.766	0.774	0.783
LiBr	0.796	0.766	0.756	0.752	0.753	0.758	0.767	0.777	0.789	0.803
LiCl	0.790	0.757	0.744	0.740	0.739	0.743	0.748	0.755	0.764	0.774
$LiClO_4$	0.812	0.794	0.792	0.798	0.808	0.820	0.834	0.852	0.869	0.887
$LiNO_4$	0.788	0.752	0.736	0.728	0.726	0.727	0.729	0.733	0.737	0.743
LiOH	0.760	0.702	0.665	0.638	0.617	0.599	0.583	0.573	0.563	0.554
LiAc	0.784	0.742	0.721	0.709	0.700	0.691	0.689	0.688	0.688	0.689
Li_2SO_4	0.468	0.389	0.361	0.337	0.319	0.307	0.297	0.289	0.202	0.277
$MgCl_2$	0.528	0.488	0.476	0.474	0.480	0.490	0.505	0.521	0.543	0.569
$MgSO_4$	0.150	0.107	0.087	0.076	0.068	0.062	0.057	0.054	0.051	0.049
$MnCl_2$	0.518	0.471	0.452	0.444	0.442	0.445	0.450	0.457	0.468	0.481
$MnSO_4$	0.150	0.105	0.085	0.073	0.064	0.058	0.053	0.049	0.046	0.044
NH_4Cl	0.770	0.718	0.687	0.665	0.649	0.636	0.625	0.617	0.609	0.603
NH_4NO_4	0.740	0.677	0.636	0.606	0.582	0.562	0.545	0.530	0.516	0.504
$(NH_4)_2SO_4$	0.423	0.343	0.300	0.270	0.248	0.231	0.218	0.206	0.198	0.189
NaBr	0.782	0.741	0.719	0.704	0.697	0.692	0.689	0.687	0.683	0.683
$NaCH_3CO_2$	0.791	0.757	0.744	0.737	0.735	0.736	0.740	0.745	0.752	0.757
NaCl	0.778	0.735	0.710	0.693	0.681	0.673	0.667	0.662	0.659	0.657
$NaClO_4$	0.775	0.729	0.701	0.683	0.668	0.656	0.648	0.641	0.635	0.629
$NaClO_3$	0.772	0.720	0.688	0.664	0.645	0.630	0.617	0.606	0.597	0.589
$NaClO_4$	0.464	0.394	0.353	0.327	0.307	0.292	0.280	0.269	0.261	0.253
NaF	0.765	0.710	0.676	0.651	0.632	0.616	0.603	0.592	0.582	0.573
$NaNO_3$	0.762	0.703	0.666	0.638	0.617	0.599	0.583	0.570	0.558	0.548
NaH_2PO_4	0.744	0.675	0.629	0.593	0.563	0.539	0.517	0.499	0.483	0.468
NaI	0.787	0.751	0.735	0.727	0.723	0.723	0.724	0.727	0.731	0.736
NaAc	0.791	0.757	0.744	0.737	0.735	0.736	0.740	0.745	0.752	0.757
NaOH	0.764	0.725	0.706	0.695	0.688	0.683	0.680	0.677	0.676	0.677
NaSCN	0.787	0.750	0.731	0.720	0.715	0.712	0.710	0.710	0.711	0.712
Na_2SO_4	0.452	0.371	0.325	0.294	0.230	0.252	0.237	0.225	0.213	0.204
NiCl	0.522	0.479	0.463	0.460	0.464	0.471	0.482	0.496	0.515	0.563
$NiSO_4$	0.150	0.105	0.084	0.071	0.063	0.056	0.052	0.048	0.045	0.043
$Pb(NO_3)_2$	0.405	0.316	0.267	0.234	0.210	0.192	0.176	0.164	0.154	0.145
RbBr	0.763	0.706	0.673	0.650	0.632	0.617	0.605	0.595	0.586	0.578
RbCl	0.764	0.709	0.675	0.652	0.634	0.620	0.608	0.599	0.590	0.583
RbI	0.762	0.705	0.671	0.647	0.629	0.614	0.602	0.591	0.583	0.575

续表

化学式	$c/(\mathrm{mol \cdot L^{-1}})$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$RbNO_3$	0.734	0.658	0.606	0.565	0.534	0.508	0.485	0.465	0.446	0.430
RbAc	0.796	0.767	0.756	0.753	0.755	0.759	0.766	0.773	0.702	0.792
Rb_2SO_4	0.451	0.374	0.331	0.301	0.179	0.263	0.249	0.238	0.228	0.219
$SrCl_2$	0.511	0.461	0.442	0.433	0.430	0.431	0.434	0.441	0.449	0.461
$Sr(NO_3)_2$	0.478	0.410	0.373	0.348	0.329	0.314	0.302	0.292	0.283	0.275
$TlClO_4$	0.730	0.652	0.599	0.559	0.527	—	—	—	—	—
$TlNO_3$	0.702	0.606	0.545	0.500						
UO_2Cl_2	0.539	0.505	0.497	0.500	0.512	0.527	0.544	0.565	0.589	0.614
$UO_2(NO_3)_2$	0.543	0.512	0.510	0.518	0.534	0.555	0.578	0.608	0.641	0.679
UO_2SO_4	0.150	0.102	0.0807	0.0689	0.0611	0.0566	0.0515	0.0483	0.0458	0.0439
$ZnCl_2$	0.518	0.465	0.435	0.413	0.396	0.382	0.371	0.359	0.350	0.341
$Zn(NO_3)_2$	0.530	0.487	0.472	0.463	0.471	0.478	0.483	0.499	0.516	0.533
$ZnSO_4$	0.150	0.104	0.084	0.071	0.063	0.057	0.052	0.049	0.046	0.044

表 1-44 酸、碱、盐高浓度溶液的平均活度系数（25℃）

$m/(\mathrm{mol \cdot kg^{-1}})$	$AgNO_3$	CsCl	HCl	$HClO_4$	KOH	LiCl	NH_4NO_3	NaOH
6	0.159	0.480	3.22	4.76	2.14	2.72	0.279	1.296
7	0.142	0.486	4.37	7.44	2.80	3.71	0.2605	1.599
8	0.129	0.496	5.90	11.83	3.66	5.10	0.2451	2.00
9	0.118	0.503	7.94	19.11	4.72	6.96	0.2318	2.54
10	0.109	0.508	10.44	30.9	6.05	9.40	0.2205	3.22
11	0.102	0.512	13.51	50.1	7.87	12.55	0.2104	4.09
12	0.096	—	17.25	80.8	10.2	16.41	0.2016	5.18
13	0.090	—	21.8	129.5	12.8	20.9	0.1936	6.48
14	—	—	27.3	205	15.4	26.2	0.1864	8.02
15	—	—	34.1	322	19.1	31.9	0.1797	9.71
16	—	—	42.4	500	23.9	37.9	0.1736	11.55
17	—	—	—	—	—	43.8	0.1679	13.43
18	—	—	—	—	—	49.9	0.1628	15.37
19	—	—	—	—	—	56.3	0.1579	17.33
20	—	—	—	—	—	62.4	0.1535	19.28

表 1-45 Debye-Hückel 方程式常数（0～100℃）

$$-\lg f_i = \frac{A z_i^2 \sqrt{I}}{1 + B\mathring{a}\sqrt{I}}$$

式中 f_i 为 i 种离子的活度系数；z_i 为 i 种离子的电荷数；I 为离子强度；$\mathring{a}$ 为离子体积参数，约等于水溶液中离子的有效半径，可查阅表 1-40。

温度 $t/℃$	单位体积溶剂中①		温度 $t/℃$	单位体积溶剂中①	
	A	B		A	B
0	0.4918	0.3248	55	0.5432	0.3358
5	0.4952	0.3256	60	0.5494	0.3371
10	0.4989	0.3264	65	0.5558	0.3384
15	0.5028	0.3273	70	0.5625	0.3397
20	0.5070	0.3282	75	0.5695	0.3411
25	0.5115	0.3291	80	0.5767	0.3426
30	0.5161	0.3301	85	0.5842	0.3440
35	0.5211	0.3312	90	0.5920	0.3456
40	0.5262	0.3323	95	0.6001	0.3471
45	0.5317	0.3334	100	0.6086	0.3488
50	0.5373	0.3346			

① 单位质量溶剂中（溶质的浓度用质量摩尔浓度表示时）的 A 和 B 值，可通过将本表中相应温度下单位体积溶剂中（此时溶质的浓度用物质的量浓度表示）的 A 和 B 值乘以该温度下水的密度（见表 1-59）的平方根而获得。

第五节　溶液的基本参数

一、化合物在溶剂中的溶解度

表 1-46　重要无机化合物及某些有机化合物在水中的溶解度

化学式	结晶水	温度，t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$AgC_2H_3O_2$	—	0.72	0.88	1.04	1.21	1.41	1.64	1.89	2.18	2.52	—	—
$AgCl$	—	—	8.9×10^{-5}	1.5×10^{-4}	—	—	0.0005	—	—	—	—	—
AgF	$2H_2O$	—	119.8	172.0	190.1	222.0	—	—	—	—	—	—
Ag_2CrO_4	—	0.0014	—	—	0.0036		0.0053	—	0.008	—	—	0.011
$AgNO_2$	—	0.155	0.220	0.340	0.510	0.715	0.995	1.363	—	—	—	—
AgI	—	—	—	—	3×10^{-7}	—	—	3×10^{-6}	—	—	—	—
$AgNO_3$	—	122	170	222	300	376	455	525	—	669	—	952
Ag_2SO_4	—	0.57	0.69	0.79	0.88	0.98	1.08	1.15	1.23	1.30	1.36	1.41
$AlCl_3$	$6H_2O$	43.8	44.9	45.9	46.6	47.3	—	48.1	—	48.6	—	49.0
$Al(NO_3)_3$	$9H_2O$	61	67	75.4	81	89	96	108	120	132.5	153	159
$Al_2(SO_4)_3$	$18H_2O$	31.2	33.5	36.4	40.4	45.7	52.2	59.2	66.2	73.1	86.8	89.0
As_2O_3	—	1.21	—	2.04(25℃)	—	2.93	3.43	4.44	5.62(75℃)	—	—	8.17
As_2O_5	—	59.5	62.1	65.9	69.5	71.2	—	73.0	—	75.2	—	75.7
As_2S_3	—	—	—	5.17×10^{-5} (18℃)	—	—	—	—	—	—	—	—
B_2O_3	—	1.1	1.5	2.2	—	4.0	—	6.2	—	9.5	—	15.7
$BaBr_2$	$2H_2O$	98	101	104	109	114	118	123	128	135	—	149
$Ba(BrO_3)_2$	H_2O	0.287	0.411	2.656	0.96	1.33	1.75	2.32	3.01	3.65	4.45	5.7
$Ba(C_2H_3O_2)_2$	$3H_2O$	59	63	71	—	—	—	—	—	—	—	—
$Ba(C_2H_3O_2)_2$	H_2O	—	—	—	75	79	77	74	74	—	—	75
$BaCl_2$	$2H_2O$	31.6	33.3	35.7	38.2	40.7	43.6	46.4	49.4	52.4	—	58.8
$Ba(ClO_3)_2$	H_2O	20.33	26.95	33.80	41.70	49.61	—	66.80	—	84.84	—	104.9
$Ba(ClO_4)_2$	$3H_2O$	205.3	—	289.2	—	358.7	—	426.3	—	495.2	—	562.2
$BaCrO_4$	—	0.0002	0.00028	0.00037	0.00046	—	—	—	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/°C										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
BaI_2	$7\frac{1}{2}H_2O$	166.6	184.1	203.1	219.6	—	—	—	—	—	—	—
BaI_2	$2H_2O$	—	—	—	—	223.7	234.3	241.3	246.6	257.1	270.4	284.5
$Ba(NO_2)_2$	H_2O	—	—	67.5	—	101.2	—	141.9	—	205.8	—	300
$Ba(NO_3)_2$	—	5.0	7.0	9.2	11.6	14.2	17.1	20.3	23.6	27.0	30.6	34.2
$Ba(OH)_2$	$8H_2O$	1.67	2.48	3.89	5.59	8.22	13.12	20.94	35.6	101.4	—	—
$BaSO_4$	—	1.15×10^{-4}	2×10^{-4}	2.4×10^{-4}	2.85×10^{-4}	—	3.36×10^{-4}	—	—	4×10^{-4}	—	4.13×10^{-4}
$BaSiF_6$	—	—	—	2.1×10^{-2}	2.7×10^{-2}	3×10^{-2}	3.3×10^{-2}	—	—	—	—	9×10^{-2}
$Be(NO_3)_2$	$4H_2O$	49.4	—	—	52.3	—	58.6	64.0	—	—	—	—
$BeSO_4$	$4H_2O$	37.0	—	39.9	43.78	46.7	—	55.5	62		83	100
$BeSO_4$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	84.76	98	110
Br_2	—	4.22	3.4	3.20	3.13	—	—	—	—	—	—	
CO	—	4.4×10^{-3}	3.5×10^{-3}	2.8×10^{-3}	2.4×10^{-3}	2.1×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.0×10^{-3}	6×10^{-4}	—
CO_2	—	0.3346	0.2318	0.1688	0.1257	0.0973	0.0761	0.0576	—	—	—	—
$CaBr_2$	$6H_2O$	125	132	143	—	—	—	—	—	—	—	
$CaBr_2$	$4H_2O$	—	—	—	—	68.1	—	73.5	—	74.7	—	—
$Ca(C_2H_3O_2)_2$	$2H_2O$	37.4	36.0	34.7	33.8	33.2	32.8	32.7	33.0	33.5	—	—
$Ca(C_2H_3O_2)_2$	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31.1	29.7
$CaCO_3$		8.1×10^{-3}	7.0×10^{-3}	6.5×10^{-3}	5.2×10^{-3}	4.4×10^{-3}	3.8×10^{-3}	—	—	—	—	
CaC_2O_4		—	6.7×10^{-4} (13°C)	6.8×10^{-4} (25°C)	—	—	9.5×10^{-4}	—	—	14×10^{-4} (95°C)	—	—
$CaCl_2$	$6H_2O$	59.5	65.0	74.5	102	—	—	—	—	—	—	—
$CaCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—		—	136.8	141.7	147.0	152.7	159.0
$Ca(HCO_3)_2$	—	0.1615	—	0.1660	—	0.1705	—	0.1750	—	0.1795	—	0.1840
$Ca(H_2PO_4)_2$	—	—	—	15.4(25°C)		—	—	—	—	—	—	12.5
CaI_2	—	182.5	194.1	208.6	222.5	242.4	—	284.5	—	354.6	—	426.3
$Ca(IO_3)_2$	$6H_2O$	0.10	0.17	—	0.42	0.61	0.90	1.38	—	—	—	—
$Ca(IO_3)_2$	H_2O	—	—	—	—	0.52	0.59	0.65	—	0.80		0.95
$Ca(NO_2)_2$	$4H_2O$	62.1	—	76.7	—	—	—	—	—	—	—	—
$Ca(NO_2)_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	132.5	151.9	—	244.8	—
$Ca(NO_3)_2$	$4H_2O$	102.1	115.3	129.3	152.6	196.0	—	—	—			

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$Ca(NO_3)_2$	$3H_2O$	—	—	—	—	237.5	281.5	—	—	—	—	—
$Ca(NO_3)_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	358.7		363.7
$Ca(OH)_2$	—	0.185	0.176	0.165	0.153	0.141	0.128	0.116	0.106	0.094	0.085	0.077
$CaSO_3$	$2H_2O$	—	—	4.3×10^{-3}	—	6.3×10^{-3}	—	—	4.5×10^{-3}	3.1×10^{-3}	2.7×10^{-3}	1.1×10^{-3}
$CaSO_4$	$2H_2O$	0.1759	0.1928	0.2036	0.209	0.2097	—	0.2047	0.1974	0.1966		0.1619
$CdBr_2$	$4H_2O$	56.2	75.4	98.8	128.8	151.9	—	152.9	—	155.1	—	160.8
$CdCl_2$	$2\frac{1}{2}H_2O$	90.01	122.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$CdCl_2$	H_2O	—	135.1	134.5	—	135.3	—	136.5	—	140.5		147.0
$Cd(NO_3)_2$	$9H_2O$	106	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$Cd(NO_3)_2$	$4H_2O$	—	—	153	—	199	—	—	—	—	—	—
$Cd(NO_3)_2$	—	—	—	—	—	—	—	619	—	646		682
$CdSO_4$	$\frac{8}{3}H_2O$	75.4	76.1	—	77.7	78.6	—	—	—	—	—	—
$CdSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	77.1	—	70.3	67.6	64.5	58.4
CdI_2	—	79.8	83.2	86.2	89.7	93.8	97.4	100.4	110.0	—	—	124.9
$Ce(NH_4)_2(NO_3)_6$	—	—	—	129.3	153.8	183.0	—	196.5	—	20.6	—	—
$CeNH_4(SO_4)_2$	$4H_2O$	—	—	5.33	—	3.29	—	—	—	—	1.05	—
$Ce_2(SO_3)_3$	$9H_2O$	20.98	—	10.08	6.79	—	4.67	3.88	—	—	—	—
$Ce_2(SO_3)_3$	$8H_2O$	16.96	—	9.52	—	5.95	—	4.04	—	—	—	—
$Ce_2(SO_3)_3$	$5H_2O$	—	—	—	—	—	—	3.25	—	1.20	—	0.46
$Ce_2(SO_3)_3$	$4H_2O$	—	—	—	—	6.05	3.42	2.35	—	1.01	—	0.41
Cl_2(101.3kPa)	—	1.46	0.980	0.716	0.562	0.451	0.386	0.324	0.274	0.219	0.125	0
$CoCl_2$	$6H_2O$	43.5	47.7	52.9	59.7	69.5	—	—	—	—	—	—
$CoCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	88.7	93.8	95.3	97.6	101.2	106.2
CoI_2	$6H_2O$	138.1	159.7	187.4	233.3	300.0	376.1	—	—	400.0	—	—
$Co(IO_3)_2$	$2H_2O$	—	—	0.45	0.52	—	0.67	—	—	—	—	1.33
$Co(NO_3)_2$	$6H_2O$	84.05	—	100.0	111.4	126.8	—	—	—	—	—	
$Co(NO_3)_2$	$3H_2O$		—	—	—	—	—	167.4	184.8	220.5	334.8	—
$Co(NO_2)_2$	—	0.076	0.24	0.40	0.60	0.84	—	—	—	—	—	—
$CoSO_4$	$7H_2O$	25.5	30.55	36.21	42.26	49.85	55.2	60.4	65.7	70	—	83

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$CoSO_4$	$6H_2O$	—	—	—	—	—	—	55.0	—	—	—	—
$CoSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	73.8	—	83.9
CrO_3	—	164.8	166.0	167.4	169.5	174.0	182.5	186.5	—	194.1	198.6	206.7
$CsAl(SO_4)_2$	$12H_2O$	0.34	—	0.46	—	0.89	—	2.00	—	5.49	—	42.54
$CsCl$	—	161.4	174.7	186.5	197.3	208.0	218.3	229.7	239.5	250.0	260.1	270.5
$CsClO_3$	—	2.46	3.8	6.2	9.5	13.8	19.4	26.2	34.7	45.0	58.0	79.0
$CsClO_4$	—	0.8	1.0	1.6	2.6	4.0	5.4	7.3	9.8	14.4	20.5	30.0
CsF	$1\frac{1}{2}H_2O$	—	—	366.6 (18℃)	—	—	—	160	—	—	—	—
$CsIO_3$	—	—	—	2.6(24℃)	—	—	—	—	—	—	—	—
$CsIO_4$	—	—	2.15(15℃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$CsNO_3$	—	9.33	14.9	23.0	33.9	47.2	64.4	83.8	107.0	134.0	163.0	197.0
$CsOH$	—	—	79.41 (15℃)	—	75.18	—	—	—	—	—	—	—
Cs_2PtCl_6	—	4.7×10^{-3}	6.4×10^{-3}	8.6×10^{-3}	11.9×10^{-3}	15.8×10^{-3}	21.2×10^{-3}	29.0×10^{-3}	38.9×10^{-3}	52.5×10^{-3}	67.5×10^{-3}	91.5×10^{-3}
Cs_2SO_4	—	167.1	173.1	178.7	184.1	189.9	194.9	199.9	205.0	210.3	214.9	220.3
$CuBr_2$	$4H_2O$	107.5	116.0	126.8	127.7	—	131.4	—	—	—	—	—
$CuCl$	—	—	—	1.52(25℃)	—	—	—	—	—	—	—	—
$CuCl_2$	$4H_2O$	68.6	70.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$CuCl_2$	$2H_2O$	—	—	72.7	77.3	80.8	84.2	87.6	92.3	96.1	103.6	110.0
CuI_2	—	—	—	1.107	—	—	—	—	—	—	—	—
$Cu(IO_3)_2$	H_2O	—	—	0.153	—	—	—	—	—	—	—	0.65
$Cu(NH_4)_2Cl_4$	$2H_2O$	28.24	—	35.05	—	43.82	—	56.57	—	76.56	—	—
$Cu(NO_3)_2$	$6H_2O$	81.8	100.0	124.8	154.4	—	—	—	—	—	—	—
$Cu(NO_3)_2$	$3H_2O$	—	—	—	—	163.1	171.8	181.8	194.1	207.8	222.5	247.3
$CuSO_4$	$5H_2O$	14.3	17.4	20.7	25.0	28.5	33.3	40.0	47.1	55	64.2	75.4
$FeBr_2$	$6H_2O$	102.1		115.0	122.3	128.3	—	143.9	—	159.7		177.8
$FeCl_2$	$4H_2O$	—	64.5	—	73.0	77.3	82.5	88.7	—	100.0	—	—
$FeCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105.3	105.8
$FeCl_3$	$6H_2O$	74.4	81.8	91.9	106.8	—	—	—	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃ 0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$FeCl_3$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	315.2	—	—	—	—	—
$FeCl_3$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	525.0	—	536.9
$Fe(NO_3)_3$	$6H_2O$	78.03	—	83.03	—	—	—	166.6	—	—	—	—
$FeSO_4$	$7H_2O$	15.65	20.5	26.5	32.9	40.2	48.6	—	—	—	—	—
$FeSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	50.9	43.6	37.3	—
H_2	—	1.982×10^{-4}	1.740×10^{-4}	1.603×10^{-4}	1.474×10^{-4}	1.384×10^{-4}	1.287×10^{-4}	1.178×10^{-4}	1.021×10^{-4}	0.790×10^{-4}	0.461×10^{-4}	0
H_3BO_3	—	2.66	3.57	5.04	6.72	8.72	11.54	14.81	18.62	23.62	30.38	40.3
HBr	—	221.2	210.3	198.2	—	—	171.3	—	—	—	—	130.0
$H_2C_2O_4$(草酸)	$2H_2O$	3.54	6.08	9.52	14.3	21.5	31.4	44.3	65.0	84.5	119.8	—
$H_2C_4H_4O_4$(琥珀酸)	—	2.80	4.50	6.91	10.62	16.1	24.4	35.9	51.1	70.9	—	121.3
$H_2C_4H_4O_6$(酒石酸)	—	115.0	126.3	139.2	156.4	176.2	195.0	218.5	244.8	273.2	—	344.4
$H_3C_6H_5O_7$(柠檬酸)	H_2O	96	118	146	183	—	—	—	—	—	—	—
$H_3C_6H_5O_7$(柠檬酸)	—	—	—	—	—	216	244	278	—	371	—	526
$HC_7H_5O_2$(苯甲酸)	—	0.17	0.21	0.29	0.41	0.56	0.78	1.16	—	2.71	—	5.88
$HC_7H_5O_3$(水杨酸)	—	0.090	0.14	0.22	0.30	0.42	0.64	0.90	1.39	2.26	3.89	8.12
HCl	—	82.3	—	—	67.3	63.3	59.6	56.1	—	—	—	—
HIO_3	—	236.7	—	257.1	—	280.2	—	314.9	—	360.8	—	20.8
H_2S	—	0.699	0.502	0.378	0.294	0.232	0.186	0.146	0.109	0.076	0.041	0.000
H_2SeO_3	—	90.1	122.3	166.6	235.6	344.4	380.7	383.0	383.0	383.0	385.4	—
H_2SeO_4	H_2O	426.3	—	566.6	—	—	—	—	—	—	—	—
H_2SeO_4	—	—	—	—	132.5	1718	2753	∞	—	—	—	—
H_2TeO_4	$6H_2O$	16.17	35.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H_2TeO_4	$2H_2O$	—	33.85	—	50.05	57.19	—	77.54	—	106.4	—	155.3
HgBr	—	—	—	3.9×10^{-6} (25℃)	—	—	—	—	—	—	—	—
$HgBr_2$	—	0.3	0.4	0.55	0.65	0.91	1.27	1.68	…	2.8	…	4.9
$Hg(CN)_2$	—	—	9.3 (13.5℃)	—	—	—	—	—	—	—	—	53.85
$HgCl_2$	—	4.3	5.6	6.6	8.3	9.9	11.1	14.9	17.2	24.2	37.2	63.6

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
Hg_2Cl_2	—	1.4×10^{-4}	—	2×10^{-4}	7×10^{-4}	—	—	—	—	—	—	—
I_2	—	1.62×10^{-2}	1.9×10^{-2}	2.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}	5.6×10^{-2}	7.8×10^{-2}	10.6×10^{-2}	—	—	—	—
$KAl(SO_4)_2$	$12H_2O$	3.0	4.0	5.9	8.4	11.7	17.0	24.8	40.0	71.0	109.0	154
$KAuBr_4$	$2H_2O$	18.3(15℃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	192
$KAuCl_4$	$2H_2O$	—	38.3	61.8	94.9	145	233	405	—	—	—	—
$KBeF_3$	—	—	—	2.0	—	—	—	—	—	—	—	5.2
KBr	—	53.5	59.5	65.5	70.6	75.5	80.2	85.1	90.0	95.0	99.2	104.0
$KBrO_3$	—	3.1	4.8	6.9	9.5	13.2	17.5	22.7	—	34.0	—	50.0
$KC_2H_3O_2$	$1\frac{1}{2}H_2O$	216.7	233.9	255.6	283.8	323.3	—	—	—	—	—	—
$KC_2H_3O_2$	$1/2H_2O$	—	—	—	—	—	337.3	350.0	364.8	380.1	396.3	—
KCN	—	63	—	71.6(15℃)	—	—	81	—	—	95	—	122
K_2CO_3	$1\frac{1}{2}H_2O$	105.3	108.3	110.5	113.7	116.9	121.3	126.8	133.5	139.8	147.5	155.7
$K_2C_2O_4$	H_2O	20.3	23.7	26.4	28.6	30.8	33.0	35.1	37.2	39.5	41.3	44.0
KCl	—	27.6	31.0	34.0	37.0	40.0	42.6	45.5	48.1	51.1	54.0	56.7
$KClO_3$	—	3.3	5.0	7.4	10.5	14.0	19.3	25.9	32.5	39.7	47.7	56.2
$KClO_4$	—	0.75	1.05	1.80	2.6	4.4	6.5	9.0	11.8	14.8	18.0	21.8
K_2CrO_4	—	58.2	60.0	61.7	63.4	65.2	66.8	68.6	70.4	72.1	73.9	75.6
$K_2Cr_2O_7$	—	5.0	8.5	13.1	18.2	29.2	37.0	50.5	61.5	73.0	96.2	102.0
$KCr(SO_4)_2$	$12H_2O$	—	—	12.51 (25℃)	—	—	—	—	—	—	—	—
KF	$4H_2O$	44.72	53.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KF	$2H_2O$	—	—	94.93	108.1	—	—	—	—	—	—	—
KF	—	—	—	—	—	—	—	144.2	—	150.1	—	—
$K_3[Fe(CN)_6]$	—	~30	36.6	42.9	—	61.3	—	71.0	—	81.8	—	91.6
$K_4[Fe(CN)_6]$	$3H_2O$	14.9	21.2	28.9	36.8	42.7	—	55.9	57.5	68.6	74.8	77.8
$KHCO_3$	—	22.6	27.7	33.3	39.1	45.3	52.0	60.0	—	—	—	—
$KH_3(C_2O_4)_2$	$2H_2O$	1.27		—	4.29	—	—	12.0	—	—	—	66.7
$KHC_4H_4O_6$ (酒石酸氢钾)	—	0.32	0.40	0.53	0.90	1.3	1.8	2.5	—	4.6	—	7.0

续表

化学式	结晶水	温度,t/°C										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$KHC_8H_4O_4$（邻苯二酸氢钾）	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	33
KHF_2	—	24.53	30.10	39.18	—	56.37	—	78.83	—	114.0	—	—
KH_2PO_4	—	14.8	18.4	22.6	—	33.5	—	50.1	—	70.4	83.5	—
$KHSO_4$	—	36.3	—	51.4	—	67.3	—	—	—	—	—	121.6
KI	—	127.5	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208
KIO_3	—	4.73	—	8.13	11.73	12.8	—	18.5	—	24.8	—	32.2
KIO_4	—	0.17	—	0.42	—	0.93	—	2.16	—	4.44	—	7.87
$KMnO_4$	—	2.83	4.4	6.4	9.0	12.56	16.89	22.2	—	—	—	—
KNO_2	—	278.8	—	298.4	—	334.8	—	350	—	376	—	412.9
KNO_3	—	13.3	20.9	31.6	45.8	63.9	85.5	110.0	138	169	202	246
$KNaC_4H_4O_6$	$4H_2O$	28.4	40.6	54.8	76.4	—	—	—	—	—	—	—
KOH	$2H_2O$	97	103	112	126	—	—	—	—	—	—	—
KOH	H_2O	—	—	—	—	136	140	147	—	160	—	178
K_2PtCl_6	—	0.74	0.90	1.12	1.41	1.76	2.17	2.64	3.19	3.79	4.45	5.18
KSCN	—	177	196	217.5	255	290	325	372	420	488	575	674
K_2SO_3	—	106.2	106.6	106.0	—	108.7	—	—	—	111.4	122.3	—
K_2SO_4	—	7.35	9.22	11.11	12.97	14.76	16.56	18.17	19.75	21.4	22.4	24.1
$K_2S_2O_5$	—	28.4	36.2	44.7	—	64.0	—	83.2	—	106.6	119.3	—
$K_2S_2O_8$	—	1.8	2.7	4.7	7.7	11.0	—	—	—	—	—	—
$KSbOC_4H_4O_6$	$\frac{1}{2}H_2O$	—	5.3	8.0	12.2	—	—	—	31.2 (75°C)	—	—	35.9
$KSiF_6$	—	—	—	0.12	—	0.25	—	—	—	0.46	—	0.954
$La_2(SO_4)_3$	$9H_2O$	3.0	—	—	1.9	—	1.5	—	—	—	—	0.69
LiBr	$2H_2O$	143	166	177	191	205	—	—	—	—	—	—
LiBr	H_2O	—	—	—	—	—	214	224	—	225	—	226
$LiCO_3$	—	1.54	1.43	1.33	1.25	1.17	1.08	1.01	—	0.85	—	0.72
LiCl	H_2O	67	72	78.5	84.5	90.5	97	103	—	115	—	127.5
LiF	—	—	—	0.26 (18°C)	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/°C										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
LiI	$3H_2O$	151	157	165	171	179	187	202	230	—	—	—
LiI	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	135	—	481
$LiNO_3$	$3H_2O$	53.4	61.0	74.5	132.5	—	—	—	—	—	—	—
$LiNO_3$	$\frac{1}{2}H_2O$	—	—	—	—	145.1	156.4	174.8	—	—	—	—
$LiNO_3$	—	—	—	—	—	—	—	—	194.1	—	—	—
LiOH	H_2O	12.7	12.7	12.8	12.9	13	13.3	13.8	—	15.3	—	17.5
Li_2SO_4	H_2O	35.3	35.0	34.2	33.5	32.8	32.5	31.9	—	30.7	—	29.9
$MgBr_2$	$6H_2O$	91.0	94.5	96.5	99.2	101.6	104.1	107.5	—	113.7	—	120.2
$MgCl_2$	$6H_2O$	52.8	53.5	54.5	—	57.5	—	61.0	—	66.0	—	73.0
MgI_2	$8H_2O$	120.8	—	139.8	—	173.2	—	—	—	185.7	—	—
$MgNH_4AsO_4$	$6H_2O$	—	—	3.8×10^{-2}	—	—	—	—	—	2.4×10^{-2}	—	—
$MgNH_4PO_4$	$6H_2O$	2.3×10^{-2}	—	5.2×10^{-2}	—	4×10^{-2}	—	4×10^{-2}	—	1.9×10^{-2}	—	—
$Mg(NO_3)_2$	$6H_2O$	62.6	—	70.1	74.8	78.9	84.5	91.2	—	106.2	138.1	—
$MgSO_4$	$7H_2O$	—	30.9	35.5	40.8	45.6	—	—	—	—	—	—
$MgSO_4$	$6H_2O$	40.8	42.3	44.5	45.4	—	50.4	55.0	59.5	64.2	68.9	73.9
$MgSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	62.9	—	68.3
$MnBr_2$	$4H_2O$	127.3	135.8	146.9	157.0	168.9	181.8	196.7	212.5	—	—	—
$MnBr_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	224.7	225.7	227.9
$MnCl_2$	$4H_2O$	63.4	68.1	73.9	80.7	88.6	98.2	—	—	—	—	—
$MnCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	108.6	110.6	112.7	114.1	115.3
$Mn(H_2BO_3)_2$	H_2O	—	0.19 (14°C)	—	—	—	0.69	—	—	—	—	—
$Mn(NO_3)_2$	$6H_2O$	102.0	117.9	142.8	—	—	—	—	—	—	—	—
$Mn(NO_3)_2$	$3H_2O$	—	—	—	206.5	—	—	—	—	—	—	—
$MnSO_4$	$7H_2O$	53.23	60.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$MnSO_4$	$5H_2O$	—	59.5	62.9	67.76	—	—	—	—	—	—	—
$MnSO_4$	$4H_2O$	—	—	64.5	66.4	68.8	72.6	—	—	—	—	—
$MnSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	58.2	55.0	52.0	48.0	42.5	34.0
MoO_3	—	—	—	0.138	0.264	0.476	0.687	1.206	2.055	2.106	—	—
NH_3	—	89.7	68.3	52.9	40.9	31.6	23.5	16.8	11.1	6.5	3.0	0.0

续表

化学式	结晶水	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		温度，t/℃										
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$NH_4Al(SO_4)_2$	$12H_2O$	2.72	4.81	7.17	10.10	14.29	19.1	26.8	37.7	53.9	98.2	120.7
NH_4Br	—	60.6	68	75.5	83.2	91.1	99.2	107.8	116.8	126.0	135.6	145.6
$(NH_4)_2C_2O_4$	H_2O	2.4	3.2	4.5	6.0	8.2	10.7	—	—	—	—	—
NH_4Cl	—	29.4	33.3	37.2	41.4	45.8	50.4	55.2	60.2	65.6	71.3	77.3
NH_4ClO_4	—	11.56	—	20.85	—	30.58	—	39.05	—	43.19	—	57.01
$(NH_4)_2Co(SO_4)_2$	$6H_2O$	6.0	9.5	13.0	17.0	22.0	27.0	33.5	40.0	49.0	—	—
$(NH_4)_2CrO_4$	—	25.01	—	32.96	40.4	—	51.87	—	81.83 (75℃)	—	—	—
$(NH_4)_2Cr_2O_7$	—	18.26	—	35.6	46.5	58.5	71.4	86.0	—	115.0	—	155.6
$NH_4Cr(SO_4)_2$	$12H_2O$	3.9	—	—	11.9	18.3	—	—	—	—	—	—
$NH_4Cr(SO_4)_2$	$12H_2O$	3.9	—	—	19.0	32.8		—	—	—	—	—
NH_4F	—	50	74	—	—	—	—	111	—	—	—	—
$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$	$6H_2O$	17.8	—	26.9	—	38.5	—	53.4	—	73.0	—	—
$NH_4Fe(SO_4)_2$	$12H_2O$	—	—	124	—	—	—		—	—	—	400
NH_4HCO_3	—	11.9	15.8	21	27	36.6	—	—	—	—	—	—
$NH_4H_2PO_3$	—	171	190 (14.5℃)	—	260	—	—	—	—	—	—	—
$NH_4H_2PO_4$	—	22.7	—	36.8	—	56.7	—	82.9	—	120.7	—	174
$(NH_4)_2HPO_4$	—	42.9	57.5	68.6	—	81.8	—	97.6	106.0	—	—	—
NH_4I	—	154.2	163.2	172.3	181.4	190.5	199.6	208.9	218.7	228.8	—	250.3
NH_4LiSO_4	—	—	55.24	—	55.94	—	56.24	—	56.70	—	—	—
NH_4NO_3	—	118.3	—	192.0	241.8	297.0	344.0	421.0	499.0	580.0	740.0	871.0
NH_4MgPO_4	$6H_2O$	0.023	—	0.052	—	0.036	0.030	0.040	0.016	0.019	—	—
$(NH_4)_2PtCl_6$	—	—	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NH_4MnPO_4	$7H_2O$	—	—	0	—	0	—	0	0.005	0.007	—	—
NH_4SCN	—	119.8	143.9	170.2	207.7	—	235	—	347	—	—	—
$(NH_4)_2SO_4$	—	70.6	73.0	75.4	78.0	81.0	—	88.0	—	95.3	—	103.3
$(NH_4)_2S_2O_8$	—	58.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$(NH_4)_3SbS_4$	$4H_2O$	71.2	—	91.2	119.8	—	—	—	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃ 0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$(NH_4)_2SeO_4$	—	—	1.22 (12℃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$(NH_4)_2SiF_6$	—	—	—	18.6	—	—	—	—	—	—	—	55.5
NH_4VO_3	—	—	—	4.8	8.4	13.2	17.8	—	30.5	—	—	—
NO(101.3kPa)	—	9.84×10^{-3}	7.57×10^{-3}	6.18×10^{-3}	5.17×10^{-3}	4.40×10^{-3}	3.76×10^{-3}	3.24×10^{-3}	2.67×10^{-3}	1.99×10^{-3}	1.14×10^{-3}	0
N_2O(101.3kPa)	—	—	0.171	0.124	—	—	—	—	—	—	—	—
$Na_2B_4O_7$	$10H_2O$	1.3	1.6	2.7	3.9	6.7	10.5	20.3	—	—	—	—
$Na_2B_4O_7$	$5H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	24.4	31.5	41.0	52.5
$NaBeF_3$	—	—	—	1.4	—	—	—	—	—	—	—	2.8
NaBr	$2H_2O$	79.5	—	90.5	97.6	105.8	116.0	—	—	—	—	—
NaBr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	118.3	—	121.3
$NaBrO_3$	—	27.5	—	34.5	—	50.2	—	62.5	—	75.7	—	90.9
$NaC_2H_3O_2$	$3H_2O$	36.3	40.8	46.5	54.5	65.5	83	139	—	—	—	—
$NaC_2H_3O_2$	—	—	—	—	126	129.5	134	139.5	146	153	161	170
Na_2CO_3	$10H_2O$	7	12.5	21.5	38.8	—	—	—	—	—	—	—
Na_2CO_3	H_2O	—	—	—	50.5	48.5	—	46.4	46.2	45.8	45.7	45.5
$Na_2C_2O_4$	—	—	—	3.7	—	—	—	—	—	—	—	6.33
NaCl	—	35.7	35.8	36.0	36.3	36.6	37.0	37.3	37.8	38.4	39.0	39.8
NaClO	—	29.4	36.4	53.4	100.0	110.5	129.9	—	—	—	—	—
$NaClO_3$	—	79	89	101	113	126	140	155	172	189	—	230
$NaClO_4$	H_2O	167	—	181	—	243	—	—	—	—	—	—
Na_2ClO_4	—	—	—	—	—	—	—	289	—	304	—	324
Na_2CrO_4	$10H_2O$	31.70	50.17	88.7	—	—	—	—	—	—	—	—
Na_2CrO_4	$4H_2O$	—	—	—	88.7	95.94	104.1	114.6	—	—	—	—
Na_2CrO_4	—	—	—	—	—	—	—	—	123.1	124.8	—	126.2
$Na_2Cr_2O_7$	$2H_2O$	163.0	170.2	180.1	196.7	220.5	248.4	283.1	323.8	385.4	—	—
$Na_2Cr_2O_7$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	431.9
NaF	—	3.53	4.01 (15℃)	4.17	4.20	4.40	4.55	4.68	—	4.89	—	5.08
$Na_4[Fe(CN)_6]$	$10H_2O$		—	17.9	—	30		—	—	59	—	63

续表

化学式	结晶水	温度,t/°C 0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
Na_2HAsO_4	$12H_2O$	5.9	16.4	33.9	49.3	69.5	99.4	144	184	186	189	198
$NaHCO_3$	—	6.9	8.15	9.6	11.1	12.7	14.45	16.4		分	解	
NaH_2PO_4	$2H_2O$	57.9	69.9	85.2	106.5	138.2	—	—	—	—	—	—
NaH_2PO_4	H_2O	—	—	—	—	—	158.6	—	—	—	—	—
NaH_2PO_4	—	—	—	—	—	—	—	179.3	190.3	207.3	225.3	246.6
Na_2HPO_4	$12H_2O$	1.67	3.6	7.7	20.8	—	—	—	—	—	—	—
Na_2HPO_4	$7H_2O$	—	—	—	—	51.8	—	—	—	—	—	—
Na_2HPO_4	$2H_2O$	—	—	—	—	—	80.2	82.9	88.1	92.4	102.9	—
Na_2HPO_4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	102.2
NaI	$2H_2O$	158.7	168.6	178.7	190.3	205.0	227.8	256.8	—	—	—	—
NaI	—	—	—	—	—	—	—	—	294	296	300	302
$NaIO_3$	H_2O	2.5	4.6	9.0	11.0	13.3	16.3	19.8	23.5	—	—	—
$NaIO_3$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28.5	29.5	33.0
Na_2MoO_4	$10H_2O$	44.3	64.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na_2MoO_4	$2H_2O$	—	—	65.0	66.1	—	70.7	—	—	—	—	83.8
$NaNO_2$	—	72.1	77.9	84.5	91.6	98.4	104.1	—	—	132.5	—	163.1
$NaNO_3$	—	73	80	88	96	104	114	124	—	148	—	180
NaOH	$4H_2O$	42	51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaOH	H_2O	—	—	109	119	129	145	174	—	—	—	—
NaOH	—	—	—	—	—	—	—	—	299	313.7	—	347
Na_3PO_4	$12H_2O$	1.5	4.1	11	20	31	43	55	—	81	—	108
$Na_4P_2O_7$	$10H_2O$	3.16	3.95	6.23	9.95	13.50	17.45	21.83	—	30.04	—	40.26
Na_2S	$9H_2O$	—	15.42	18.8	22.6	28.5	—	—	—	—	—	—
Na_2S	$6H_2O$	—	—	—	—	—	36.4	39.1	43.31	49.15	57.28	—
Na_2S	$5.5H_2O$	—	—	—	—	—	39.82	42.69	45.73	51.40	59.23	—
Na_2SO_3	$7H_2O$	13.9	20	26.9	36	—	—	—	—	—	—	—
Na_2SO_3	—	—	—	—	—	37.0	—	33.2	—	29.0	—	26.6
Na_2SO_4	$10H_2O$	5.0	9.0	19.4	40.8	—	—	—	—	—	—	—
Na_2SO_4	$7H_2O$	19.5	30	44	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
Na_2SO_4	—	—	—	—	50.4	48.8	46.7	45.3	44.1	43.7	42.9	42.5
$Na_2S_2O_3$	$5H_2O$	52.5	61.0	70.0	84.7	102.6	—	—	—	—	—	—
$Na_2S_2O_3$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	206.6	—	—	—	—
$Na_2S_2O_3$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	245	—	266
$Na_2S_2O_5$	$7H_2O$	45.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$Na_2S_2O_5$	—	—	—	65.3	—	71.1	—	79.9	—	88.7	—	100
Na_2SeO_4	$10H_2O$	13.30	—	—	78.74	—	—	—	—	—	—	—
Na_2SeO_4	—	—	—	—	—	—	80.15	—	—	—	—	72.83
Na_2SiF_6	—	0.43	—	0.73	—	1.03	—	—	—	1.86	—	2.46
$NaVO_3$	$2H_2O$	—	—	15.3 (25℃)	—	30.2	—	68.4	—	—	—	—
$NaVO_3$	—	—	—	21.10 (25℃)	—	26.23	—	32.97	36.9	38.8 (75℃)	—	—
Na_2WO_4	$10H_2O$	57.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na_2WO_4	$2H_2O$	71.61	—	72.4	—	77.9	—	—	—	91.2	—	97.2
$Nd_2(SO_4)_3$	$8H_2O$	9.6	—	7.1	5.3	4.1	3.3	2.8	2.5	—	1.2	1.2
$NiBr_2$	$3H_2O$	112.8	122.3	130.9	138.1	144.5	150.0	152.5	—	153.3	—	155.1
$NiCl_2$	$6H_2O$	51.7	—	55.3	—	—	—	—	—	—	—	—
$NiCl_2$	$4H_2O$	—	—	—	—	72.5	—	80.5	—	—	—	—
$NiCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	86.9	—	88.0
NiI_2	—	124.3	135.3	148.1	161.1	174.0	183.2	184.1	185.7	187.4	188.2	—
$Ni(NH_4)_2(SO_4)_2$	$6H_2O$	—	3.2	5.9	7.8	11.5	14.4	17.0	19.8	25.5	—	—
$Ni(NO_3)_2$	$6H_2O$	79.58	—	96.32	—	122.3	—	—	—	—	—	—
$Ni(NO_3)_2$	$4H_2O$	—	—	—	—	—	—	163.1	177.4	—	—	—
$Ni(NO_3)_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	235.2	—
$NiSO_4$	$7H_2O$	27.22	32	—	42.46	—	—	—	—	—	—	—
$NiSO_4$	$6H_2O$	—	—	—	—	—	50.15	54.80	59.44	63.17	—	76.7
O_2	—	6.948×10^{-3}	5.370×10^{-3}	4.339×10^{-3}	3.508×10^{-3}	3.081×10^{-3}	2.657×10^{-3}	2.274×10^{-3}	1.857×10^{-3}	1.381×10^{-3}	7.87×10^{-4}	0
O_3		3.9×10^{-3}	2.9×10^{-3}	2.1×10^{-3}	7×10^{-4}	4×10^{-4}	1×10^{-4}	0	—	—	—	—

续表

化学式	结晶水	温度,t/C										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$PbBr_2$	—	0.4554	—	0.85	1.15	1.53	1.94	2.36	—	3.34	—	4.75
$Pb(C_2H_3O_2)_2$	$3H_2O$	—	45.6 (15C)	55.0 (25C)	—	—	—	—	—	—	—	200
$PbCO_3$	—	—	—	0.00011	—	—	—	—	—	—	—	—
$PbCl_2$	—	0.6728	—	0.99	1.20	1.45	1.70	1.98	—	2.62	—	3.34
$PbCrO_4$	—	—	—	4.3×10^{-6}	—	—	—	—	—	—	—	—
PbF_2	—	—	0.060	0.064	0.068	—	—	—	—	—	—	—
PbI_2	—	4.42×10^{-2}	—	6.8×10^{-2}	9.0×10^{-2}	12.5×10^{-2}	16.4×10^{-2}	1.97×10^{-2}	—	30.2×10^{-2}	—	13.6×10^{-2}
$Pb(NO_3)_2$	—	38.8	48.3	56.5	66	75	85	95	—	115	—	138.8
$PbSO_4$	—	2.8×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4.1×10^{-3}	4.9×10^{-3}	5.6×10^{-3}	—	—	—	—	—	—
$RbAl(SO_4)_2$	$12H_2O$	0.72	—	2.59	—	3.52	—	7.39	—	43.25	—	69
$RbCl$	—	77.0	84.4	91.1	97.6	103.5	109.3	115.5	121.4	127.2	133.1	138.9
$RbClO_3$	—	2.14	—	5.4	8.0	—	15.98	—	—	—	—	62.8
$RbClO_4$	—	0.5	0.6	1.0	1.5	2.3	3.5	4.85	6.72	9.2	12.7	18
$RbNO_3$	—	19.5	33.0	53.3	81.3	116.7	155.6	200	251	309	375	452
Rb_2PtCl_6	—	13.7×10^{-3}	20.0×10^{-3}	28.2×10^{-3}	39.7×10^{-3}	56.5×10^{-3}	—	99.7×10^{-3}	—	182×10^{-3}	—	334×10^{-3}
Rb_2SO_4	—	36.4	42.6	48.2	53.5	58.5	63.1	67.4	71.4	75.0	78.7	81.8
SO_2	—	22.83	16.21	11.29	7.81	5.41	4.5	3.2	2.6	2.1	1.8	—
$SbCl_3$	—	601.6	—	931.5	1068.0	1368.0	1917.0	4531.0	—	∞	—	—
SbF_3	—	384.7	—	444.7	563.6	—	—	—	—	—	—	—
$SnCl_2$	$2H_2O$	83.9	—	269.8 (15C)	—	—	—	—	—	—	—	—
SnI_2	—	—	—	1.0	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.4	4.0
$SnSO_4$	—	—	—	19	—	—	—	—	—	—	—	18
$SrBr_2$	$6H_2O$	85.2	93.0	102.4	111.9	123.2	135.8	150.0	—	181.8	—	222.5
$Sr(C_2H_3O_2)_2$	$4H_2O$	36.9	43.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$Sr(C_2H_3O_2)_2$	$\frac{1}{2}H_2O$	—	42.95	41.6	39.5	—	37.35	—	36.24	36.10	36.24	36.4
$SrCl_2$	$6H_2O$	43.5	47.7	52.9	58.7	65.3	72.4	81.8	—	—	—	—
SrC_2O_4	$1H_2O$	0.0033	0.0044	0.0046	0.0057	—	—	—	—	—	—	—
$SrCl_2$	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	85.9	90.5	—	100.8

续表

化学式	结晶水	温度,t/℃										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
SrI_2	$6H_2O$	165.3	—	177.8	—	191.5	—	217.5	—	270.4	—	—
SrI_2	$2H_2O$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	365.2	383.1
$Sr(NO_2)_2$	H_2O	52.7	—	63.95	—	—	83.5	97.2	—	—	130.4	138.7
$Sr(NO_3)_2$	$4H_2O$	40.1	—	70.5	—	—	—	—	—	—	—	—
$Sr(NO_3)_2$	—	—	—	—	88.6	90.1	—	93.8	96	98	100	—
$Sr(OH)_2$	$8H_2O$	0.35	0.48	0.69	1.01	1.50	2.18	3.13	4.53	7.03	13.6	24.2
$SrSO_4$	—	0.0113	—	0.0114	0.0114	—	—	—	—	—	—	—
$Th(SO_4)_2$	$9H_2O$	0.74	0.98	1.38	1.995	2.998	5.22	—	—	—	—	—
$Th(SO_4)_2$	$8H_2O$	1.0	1.25	1.62	—	—	—	—	—	—	—	—
$Th(SO_4)_2$	$6H_2O$	1.50	—	1.90	2.45	—	—	6.64	—	—	—	—
$Th(SO_4)_2$	$4H_2O$	—	—	—	—	4.04	2.54	1.63	1.09	—	—	—
$Th(SeO_4)_2$	—	0.498	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$TlBr$	—	0.024	0.029	0.042	—	—	—	—	—	—	—	—
$TlBrO_2$	—	—	—	3.46×10^{-1}	—	7.36×10^{-1}	—	—	—	—	—	—
$TlCl$	—	0.21	0.25	0.33	0.42	0.52	0.63	0.8	—	1.2	—	1.8
$TlClO_3$	—	2.0	—	3.92	—	—	12.67	—	—	36.65	—	57.31
$TlClO_4$	—	6.0	8.04	—	19.72	—	39.62	—	65.32	81.49	—	166.6
TlI	—	—	0.0036	0.006	0.008	0.015	—	0.035	—	0.070	—	0.120
$TlIO_3$	—	—	—	0.058	—	—	—	—	—	—	—	—
$TlNO_3$	—	3.91	6.22	9.55	14.3	20.9	30.4	46.2	69.5	111.0	200.0	414.0
$TlOH$	—	25.44	—	—	39.9	49.5	—	73.8	—	106.0	126.1	148.3
Tl_2S	—	—	—	0.022	—	—	—	—	—	—	—	—
Tl_2SO_4	—	2.70	3.70	4.87	6.16	—	9.21	10.92	12.74	14.61	16.53	18.45
Tl_2SeO_4	—	—	2.13	2.8	—	—	—	—	—	8.5	—	10.86
$UO_2(NO_3)_2$	$6H_2O$	98.0	108.3	125.7	—	—	203.1	365.2	—	—	426	476
$Yb_2(SO_4)_3$	$8H_2O$	44.2	—	38.4	—	21.0	—	10.4	7.22	6.92	5.83	4.67
$ZnBr_2$	$2H_2O$	389.0	—	446.4	528.1		—	—			—	—
$ZnBr_2$	—	—	—	—	—	592.4	—	618.4	—	644.6	—	672.0
$ZnCl_2$	$3H_2O$	207.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

化 学 式	结晶水	温度,t/°C										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		无水化合物在100g水中的溶解度/g										
$ZnCl_2$	$2\frac{1}{2}H_2O$	—	271.7	367.3	—	—	—	—	—	—	—	—
$ZnCl_2$	—	—	—	—	—	452.5	—	488.3	—	541.1	—	614.4
$Zn(ClO_3)_2$	$6H_2O$	145.1	152.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$Zn(ClO_3)_2$	$4H_2O$	—	—	200.3	209.2	223.1	273.2	—	—	—	—	—
ZnI_2	$2H_2O$	430.7	457.3	484.9	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnI_2	—	429.3	—	—	—	445.2	—	467.3	—	490.0	—	510.5
$Zn(NO_3)_2$	$6H_2O$	94.77	—	118.4	—	—	—	—	—	—	—	—
$Zn(NO_3)_2$	$3H_2O$	—	—	—	—	206.9	—	—	—	—	—	—
$ZnSO_4$	$7H_2O$	41.9	47.0	54.4	—	—	—	—	—	—	—	—
$ZnSO_4$	$6H_2O$	—	—	—	—	70.1	77.0	—	—	—	—	—
$ZnSO_4$	H_2O	—	—	—	—	—	—	—	—	86.6	83.5	80.8

表 1-47 重要无机化合物在有机溶剂中的溶解度

（按化学式符号的顺序排列）

表中所列溶解度是指在 18℃～25℃于 100g 无水有机溶剂中最多所能溶解溶质的质量（g）。

化学式	溶解度 m/g				
	乙醇	甲醇	丙酮	吡啶	其他溶剂
$AgBr$	1.6×10^{-8}	7×10^{-7}	—	—	—
$AgCl$	1.5×10^{-6}	6×10^{-6}	1.3×10^{-6}	1.9	—
AgI	6×10^{-9}	2×10^{-7}	—		—
$AgNO_3$	2.1	3.8	0.44	34	苯——0.02；苯酚——30
$AlBr_3$	—	—	—	4.0	苯——125；二硫化碳——150
$AlCl_3$	—	—	—	—	苯——0.02；氯仿——0.05；四氯化碳——0.01
AlI_3	—	—	—	—	—
$Al_2(SO_4)_3$	—	—	—	0.83	乙二醇——16.8
$BaBr_2$	3.6	4.1	0.026	—	异戊醇——0.02
$BaCl_2$	—	2.2	—	—	甘油——9.8
BaI_2	77	—	—	8.2	—
$Ba(NO_3)_2$	1.8×10^{-3}	0.06	5×10^{-3}	—	—
$BiCl_3$	—	—	18.0	—	乙酸乙酯——1.8
BiI_3	3.5	—	—	—	—
$Bi(NO_3)_3\cdot5H_2O$	—	—	41.7	—	—
$CaBr_2$	53.8	56.2	2.73	—	异戊醇——25.6
$CaCl_2$	25.8	29.2	0.01	1.69	异戊醇——7.0
CaI_2	—	127	89	—	—
$Ca(NO_3)_2$	51	138	16.9		戊醇——7.5
$CaSO_4$	—	—	—	—	甘油——5.2
$CdBr_2$	30	16.1	18.1	—	乙醚——0.4
$CdCl_2$	1.5	2.7	—	0.70	—
CdI_2	113	223	42.8	0.45	乙醚——0.2
$CdSO_4$	0.03	0.035	—	—	—
$CeCl_3$	—	—	—	1.58（0℃）	—
$CoBr_2$	77	43	64	—	—
$CoCl_2$	54	40	3.0	0.6	乙醚——0.02
$Co(NO_3)_2$	—	—	—	—	乙二醇——400
$CoSO_4$	0.02	1.040	—	—	—
$CoSO_4\cdot7H_2O$	—	5.5	—	—	—
$CuCl_2$	55.5	57.5	2.96	0.34	乙醚——0.11；异戊醇——12
$CuSO_4$	1.1	1.5	—	—	—
$CuSO_4\cdot5H_2O$	—	15.6	—	—	—
CuI_2	—	—	—	0.5	—
$FeCl_3$	145	150	62.9	—	—
$Fe_2(SO_4)_3\cdot9H_2O$	12.7	—	—	—	—
$FeSO_4$	—	—	—	—	乙二醇——6.0
H_3BO_3	11	—	0.5	7.1	甘油——22；二噁烷——1.3
HCl（气体）	69.5	88.7	—	—	苯——1.9；乙醚——33.2
H_3PO_4	—	—	—	—	乙醚——525
$HgBr_2$	30	60	51	39.6	苯——0.7
$Hg(CN)_2$	9.5	44.1	10.3	65	甘油——27.0（15℃）
$HgCl_2$	47	67	141	25	乙醚——7；甘油——34.4（25℃）
HgI_2	2.2	3.8	3.4	31	氯仿——0.07；乙醚——0.7
I_2	26	—	—	—	氯仿——2.7；四氯化碳——2.5；二硫化碳——16；甘油——≈1
KBr	0.46	2.1	0.03	—	异戊醇——0.002；甘油——15.0（25℃）
KCN	0.88	4.91	—	—	甘油——32
KCl	0.03	0.5	9.0×10^{-5}	—	甘油——3.7；丙醇——0.006
KF	0.11	0.19	2.2	—	丙醇——0.34
KI	1.75	16.4	2.35	0.3	甘油——40；乙二醇——50

续表

化学式	溶解度 m/g				
	乙醇	甲醇	丙酮	吡啶	其他溶剂
KNO_3	—	—	—	—	三氯乙烯——0.01
KOH	39	55	—	—	—
$KSCN$	—	—	20.8	6.15	—
$LiBr$	70	—	18.1	—	乙二醇——60
$LiCl$	25	43.4	1.2	12	甘油——11
LiI	250	343	43	—	乙二醇——39
$LiNO_3$	—	—	31	33	异戊醇——10
$MgBr_2$	15.1	27.9	2.0	0.5	乙醚——2.5
$MgCl_2$	5.6	16.0	—	—	—
$MgSO_4$	0.025	0.3	—	—	甘油——26
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	—	43	—	—	—
$MnCl_2$	—	—	—	1.3	—
$MnSO_4$	0.01	0.13	—	—	—
NH_3	12.8	24	—	—	—
NH_4Br	3.4	12.5	—	—	—
NH_4Cl	0.6	3.3	—	—	甘油——9.0
NH_4ClO_4	1.9	6.8	2.2	—	—
$(NH_4)_2CO_3$	—	—	—	—	甘油——20.0
NH_4NO_3	2.5	17.1	—	0.3	—
NH_4SCN	23.5	59	—	—	—
NH_4I	26.3	—	—	—	—
$NaBF_4$	0.47	4.4	—	—	—
$NaBr$	2.4	16.7	0.008	—	乙醚——0.08；戊醇——0.12
Na_2CO_3	—	—	—	—	甘油——98
$NaCl$	0.1	1.5	3×10^{-5}	—	乙二醇——46.5
Na_2CrO_4	—	0.36	—	—	—
NaF	0.1	0.42	1×10^{-4}	—	—
NaI	46	72.7	26	—	—
$NaNO_2$	0.31	4.4	—	—	—
$NaNO_3$	0.04	0.43	—	—	—
$NaOH$	17.3	31	—	—	—
$NaSCN$	20	35	7	—	—
Na_2SO_4	0.006	0.02	—	—	—
$NiBr_2$	—	35	0.80	—	—
$NiCl_2$	10	—	—	—	乙二醇——18
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	53.7	—	—	—	—
$Ni(NO_3)_2$	—	—	—	—	乙二醇——8
$NiSO_4$	0.02	4.0	—	—	乙二醇——10
$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	2.2	20.0	—	—	—
P	0.3	—	0.14	—	苯——3.2；二硫化碳——900；甘油——0.3
$PbBr_2$	—	—	—	0.6	—
$PbCl_2$	—	—	—	0.5	甘油——2.0
PbI_2	—	—	0.02	0.2	—
$Pb(NO_3)_2$	0.04	1.4	—	7	—
S	0.05	0.03	2.1	1.5	二硫化碳——43；苯——1.7；四氯化碳——0.85
SbF_3	—	160	70	—	苯——5×10^{-4}
$SbCl_3$	—	—	538	—	苯——42
$SnCl_2$	—	—	56	—	乙酸乙酯——4.4
$SrBr_2$	64	117	0.6	—	异戊醇——31
$SrCl_2 \cdot 6H_2O$	—	63.3	—	—	—
SrI_2	4	—	—	—	—
$Sr(NO_3)_2$	0.009	—	—	0.7	异丙醇——0.002
$UO_2(NO_3)_2$	3.3	—	1.5	—	乙醚——0.96
UO_2SO_4	—	0.73	—	—	—

续表

化学式	溶解度 m/g				
	乙醇	甲醇	丙酮	吡啶	其他溶剂
$ZnBr_2$	—	—	365	4.4	—
$ZnCl_2$	—	—	43.3	2.6	甘油——50
ZnI_2	—	—	—	12.6	甘油——40
$ZnSO_4$	0.03	0.6	—	—	甘油——35
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	—	5.9	—	—	—

表 1-48 某些气体在水中的溶解度

表中所列数据是在不同温度时气体在水中的溶解度。表中符号：α 是吸收系数，指在气体分压等于 101.33kPa 时，被一体积水所吸收的该气体体积（已折合成标准状况）。l 是指气体在总压力（气体及水汽）等于 101.33kPa 时溶解于一体积水中的该气体体积。q 是指气体在总压力（气体及水汽）等于 101.33kPa 时溶解于 100g 水中的气体质量（单位：g）。

各种温度下气体在水中的溶解度

气体	单位	温度 t/℃											
		0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
空气	l	0.02918	0.02568	0.02284	0.02055	0.01868	0.01708	0.01564	—	—	—	—	—
氢	α	0.0215	0.0204	0.0195	0.0188	0.0182	0.0175	0.0170	0.0164	0.0161	0.0160	0.0160	—
	q	0.0002	0.00018	0.00017	0.00017	0.00016	0.00015	0.00015	0.00014	0.00013	0.00012	0.00010	0.0000
氩	α	0.0097	—	0.0099	—	0.0099	—	0.0100	0.0102	0.0107	—	—	—
氮①	α	0.0235	0.0209	0.0186	0.0168	0.0154	0.0143	0.0134	0.0118	0.0109	0.0102	0.0096	0.0095
	q	0.0029	0.0026	0.0023	0.0021	0.0019	0.0018	0.0016	0.0014	0.0012	0.0011	0.0007	0.0000
氧	α	0.0489	0.0429	0.0380	0.0341	0.0310	0.0283	0.0261	0.0231	0.0209	0.0195	0.0176	0.0172
	q	0.0069	0.0061	0.0054	0.0048	0.0043	0.0039	0.0036	0.0031	0.0027	0.0023	0.0014	0.0050
氯	l	4.610	—	3.148	2.680	2.299	2.019	1.799	1.438	1.225	1.023	0.683	0.000
	q	—	—	0.997	0.849	0.729	0.641	0.572	0.459	0.392	0.329	0.223	0.000
溴	α	60.5	43.3	35.1	27.0	21.3	17.0	13.8	9.4	6.5	4.9	3.0	—
	q	42.9	30.6	24.8	—	14.9	—	—	6.3	4.1	2.9	1.2	—
一氧化碳	α	0.0354	0.0315	0.0282	0.0254	0.0232	0.0214	0.0200	0.0177	0.0161	0.0149	0.0143	0.0141
	q	0.0044	0.0039	0.0035	0.0031	0.0028	0.0026	0.0024	0.0021	0.0018	0.0015	0.0010	0.0000
二氧化碳	α	1.713	1.424	1.194	1.019	0.878	0.759	0.665	0.530	0.436	0.359	—	—
	q	0.335	0.277	0.232	0.197	0.169	0.145	0.126	0.097	0.076	0.058	—	—
一氧化二氮	α	—	1.048	0.878	0.738	0.629	0.544	—	—	—	—	—	—
一氧化氮	α	0.0738	0.0646	0.0571	0.0515	0.0471	0.0432	0.0400	0.0351	0.0315	0.0295	0.0270	0.0263
	q	0.0098	0.0086	0.0076	0.0068	0.0062	0.0056	0.0052	0.0044	0.0038	0.0032	0.0020	0.0000
氯化氢	l	507	491	474	459	442	426	412	386	362	339	—	—
硫化氢	α	4.670	3.977	3.399	2.945	2.582	2.282	2.037	1.660	1.392	1.190	0.917	0.81
	q	0.707	0.600	0.511	0.441	0.385	0.338	0.298	0.286	0.188	0.148	0.077	0.00
二氧化硫	l	79.79	67.48	56.65	47.28	39.37	32.79	27.16	18.77	—	—	—	—
	q	22.83	19.31	16.21	13.54	11.28	9.41	7.80	6.47	—	—	—	—
氨	α	1176	1047 (4℃)	947 (8℃)	857 (12℃)	775 (16℃)	702 (20℃)	639 (24℃)	586 (28℃)	—	—	—	—
	q	89.5	79.6 (4℃)	72.0 (8℃)	65.1 (12℃)	58.7 (16℃)	53.1 (20℃)	48.2 (24℃)	44.0 (28℃)	—	—	—	—
甲烷	α	0.0556	0.0480	0.0418	0.0369	0.0331	0.0301	0.0276	0.0237	0.0213	0.0195	0.0177	0.0170
乙烷	α	0.0987	0.0803	0.0656	0.0550	0.0472	0.0410	0.0362	0.0291	0.0246	0.0218	0.0183	0.0172
乙烯	α	0.226	0.191	0.162	0.139	0.122	0.108	0.098	—	—	—	—	—
乙炔	α	1.73	1.49	1.31	1.15	1.03	0.93	0.84	—	—	—	—	—

① N_2+1.185%氩。

二、常用溶剂的基本特性

表 1-49　20℃时溶剂的密度

（本表按密度递增顺序排列）

名　称	ρ/(g·ml⁻¹)	名　称	ρ/(g·ml⁻¹)	名　称	ρ/(g·ml⁻¹)
戊烷	0.6262	1,2-二丁氧基乙烷	0.8359	甲酸丁酯	0.8917
己烷	0.6594	1,2-二乙氧基乙烷	0.8402	1-乙氧基-2-丙醇	0.8965
庚烷	0.6838	二戊烯	0.8446	顺十氢化萘	0.8967
辛烷	0.7025	1,1-二甲氧基乙烷	0.8516	丁酸甲酯	0.8973
乙醚	0.7135	烯丙醇	0.8520	2-丁氧基乙醇	0.9003
二异丙醚	0.7238	2-甲基-2-戊烯-4-酮	0.8548	乙酸乙酯	0.9006
环戊烷	0.7454	对异丙基苯甲烷	0.8573	2-异丙氧基乙醇	0.9030
二丙醚	0.7487	α-蒎烯	0.8592	甲酸丙酯	0.9039
丁基乙基醚	0.7495	二甲氧基甲烷	0.8601	苯乙烯	0.9060
二丁醚	0.7689	对二甲苯	0.8611	二(2-乙氧乙基)醚	0.9063
甲基环己烷	0.7694	2-氯丙烷	0.8617	α-丙氧基乙醇	0.9112
二异戊醚	0.7777	异丙苯	0.8618	β-4-甲基环己醇	0.9124
环己烷	0.7786	间二甲苯	0.8642	α-4-甲基环己醇	0.9141
二戊醚	0.7833	2-氯-2-甲基丁烷	0.8659	β-3-甲基环己醇	0.9145
2-甲基-2-丙醇	0.7858	1,2-二甲氧基乙烷	0.8665	丙酸甲酯	0.9148
2-丙醇	0.7864	甲苯	0.8669	3-甲基环己酮	0.9154
乙醇	0.7893	乙苯	0.8670	4-甲基环己酮	0.9156
丙酮	0.7908	丁酸丁酯	0.8692	1-(2-丁氧丙氧基)-2-丙醇	0.918
甲醇	0.7914	2-氯戊烷	0.8695	α-3-甲基环己醇	0.9188
二己醚	0.7934	反十氢化萘	0.8700	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	0.9213
甲基异丁基甲酮	0.8006	4-氯-2-甲基丁烷	0.8704	1-甲氧基-2-丙醇	0.9213
2-甲基-1-丙醇	0.8020	乙酸异丙酯	0.8718	2,6-二甲基吡啶	0.9226
1-丙醇	0.8036	乙酸仲丁酯	0.8720	甲酸乙酯	0.9237
丁酮	0.8054	丁酸丙酯	0.8722	β-2-甲基环己醇	0.9238
二异丁基甲酮	0.8062	乙酸异戊酯	0.8726	α-甲基环己酮	0.9250
2-丁醇	0.8063	乙酸异丁酯	0.8745	α-乙氧基乙醇	0.9297
甲基丙基甲酮	0.8082	丙酸丁酯	0.8750	1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	0.932
2-甲基-2-丁醇	0.8089	乙酸戊酯	0.8753	2,4-二甲基吡啶	0.9332
3-甲基-1-丁醇	0.8092	甲酸异丙酯	0.8774	α-2-甲基环己醇	0.9337
2-戊醇	0.8092	3-氯-2-甲基丁烷	0.878	乙酸甲酯	0.9342
1-丁醇	0.8102	1-丁氧基-2-丙醇	0.8788	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	0.9385
甲基丁基甲酮	0.8113	苯	0.8790	1-丁氧基-2-乙酰氧基乙烷	0.9405
二乙基甲酮	0.8144	丁酸乙酯	0.8794	2-甲基吡啶	0.9443
1-戊醇	0.8146	3-氯戊烷	0.8795	环己酮	0.9465
2-甲基-1-丁醇	0.8151	乙酸丁酯	0.8796	环己醇	0.9493
甲基戊基甲酮	0.8154	甲酸异丁酯	0.8798	二甲基甲酰胺	0.9493
乙基戊基甲酮	0.8157	邻二甲苯	0.8802	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	0.9519
乙基丁基甲酮	0.8182	丙酸丙酯	0.8822	4-甲基吡啶	0.9548
二丙基甲酮	0.8189	甲酸异戊酯	0.8827	1-(2-甲氧丙氧基)-2-丙醇	0.955
甲基己基甲酮	0.8192	二-(2-丁氧乙基)醚	0.8837	3-甲基吡啶	0.9566
1-己醇	0.8198	1-氯戊烷	0.8840	丁酸	0.9577
2-辛醇	0.8204	甲酸戊酯	0.8846	2-甲氧基乙醇	0.9646
3-戊醇	0.8204	1-氯-2-甲基乙烷	0.8855	乙酸环己酯	0.9697
1-庚醇	0.8236	1-氯丁烷	0.8862		
1-辛醇	0.8256	乙酸丙酯	0.8874		
1,1-二乙氧基乙烷	0.8264	四氢呋喃	0.8880		
1,2-环氧丙烷	0.8289	1-氯丙烷	0.8890		
二乙氧基甲烷	0.8294	丙烯乙酯	0.8902		

续表

名称	ρ/(g·ml⁻¹)	名称	ρ/(g·ml⁻¹)	名称	ρ/(g·ml⁻¹)
四氢化萘	0.9702	苯甲醛	1.0458	二(2-氯乙氧基)甲烷	1.2317
1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷	0.9731	乙酸	1.0492	1,2-二氯乙烷	1.2529
2,5-己二酮	0.9737	硝基乙烷	1.0497	反1,2-二氯乙烯	1.2547
甲酸甲酯	0.9742	四氢糠醇	1.0514	丙三醇	1.2613
碳酸二乙酯	0.9749	1,3-丙二醇	1.0538	二硫化碳	1.2631
乙酰丙酮	0.9772	2-丁氧基乙醇	1.0640	顺1,2-二氯乙烯	1.2837
2-丁氧基-2-乙酰氧二乙醚	0.9793	4-氯甲苯	1.0697	1,2-二氯苯	1.3059
吡啶	0.9832	2-氯甲苯	1.0825	2-溴丙烷	1.3096
乳酸丁酯	0.9837	乳酸甲酯	1.0939	3-氯-1,2-丙二醇	1.3204
2-硝基丙烷	0.9876	1,2-二乙酰氧基乙烷	1.1043	2-氯-1,3-丙二醇	1.3219
2-(2-乙氧乙氧基)乙醇	0.9880	氯苯	1.1058	二氯甲烷	1.3258
丙酸	0.9934	2-苯氧基乙醇	1.1074	1,1,1-三氯乙烷	1.3376
1-硝基丙烷	1.0009	2-氯-1-丙醇	1.1092	1-溴丙烷	1.3548
1,3-丁二醇	1.0037	1-氯-2-丙醇	1.1108	2,3-二氯-1-丙醇	1.3616
1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	1.0049	二(2-氯异丙基)醚	1.1115	1,3-二氯-2-丙醇	1.3645
2,3-丁二醇	1.0075	乙二醇	1.1136	1,2,3-三氯丙烷	1.3880
2-丁氧基-2'-乙酰氧基二乙醚	1.0096	二甘醇	1.1162	1,1,2-三氯乙烷	1.4395
1-苯基乙醇	1.0135	三甘醇	1.1234	溴乙烷	1.4612
乙醇胺	1.0161	三乙醇胺	1.1242	三氯乙烯	1.4642
1,4-丁二醇	1.0171	硝基甲烷	1.1302	三氯-氟甲烷	1.4877
2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	1.0193	甲酰胺	1.1334	氯仿	1.4892
苯胺	1.0217	糠醇	1.1343	溴苯	1.4950
二丙撑二醇	1.0234	1,2-二氯丙烷	1.1558	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	1.5760
苯乙酮	1.0281	糠醛	1.1598	四氯化碳	1.5940
乳酸乙酯	1.0302	三乙酸甘油酯	1.1623	1,1,2,2-四氯乙烷	1.5953
二噁烷	1.0338	1,1-二氯乙烷	1.1757	四氯乙烯	1.6227
1,2-丙二醇	1.0364	3-氯-1,2-环氧丙烷	1.1807	五氯乙烷	1.6813
苯甲醇	1.0454	2-氯乙醇	1.2003	1,2-二溴丙烷	1.9324
		硝基苯	1.2032	1,2-二溴乙烷	2.1791
		乳酸	1.206	二溴甲烷	2.4956
		二(2-氯乙基)醚	1.2192		
		甲酸	1.2196		

表 1-50 20℃时溶剂的折射率

(按折射率递增顺序排列)

名称	折射率, n	名称	折射率, n	名称	折射率, n
甲醇	1.3286	甲酸异丙酯	1.3678	1,2-二甲氧基乙烷	1.3797
甲酸甲酯	1.3438	二异丙基醚	1.3682	1,1-二乙氧基乙烷	1.3805
乙醚	1.3527	甲酸	1.3714	二丙醚	1.3809
二甲氧基甲烷	1.3530	乙酸	1.3716	丁基乙醚	1.3818
戊烷	1.3575	乙酸乙酯	1.3724	硝基甲烷	1.3819
丙酮	1.3588	二乙氧基甲烷	1.3726	丙酸乙酯	1.3839
1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	1.3590	己烷	1.3749	乙酸丙酯	1.3844
甲酸乙酯	1.3599	甲酸丙酯	1.3769	2-甲基-2-丙醇	1.3847
乙酸甲酯	1.3614	2-丙醇	1.3771	三氯氟甲烷	1.3849
乙醇	1.3616	乙酸异丙酯	1.3773	碳酸二乙酯	1.3852
1,2-环氧丙烷	1.3657	丙酸甲酯	1.3775	甲酸异丁酯	1.3855
1,1-二甲氧基乙烷	1.3665	2-氯丙烷	1.3781	1-丙醇	1.3856
		丁酮	1.3785		

续表

名　称	折射率，n
庚烷	1.3876
丁酸甲酯	1.3878
甲酸丁酯	1.3890
乙酸仲丁酯	1.3894
乙酸异丁酯	1.3898
1-氯丙烷	1.3900
甲基丙基甲酮	1.3901
硝基乙烷	1.3917
丁酸乙酯	1.3922
1,2-二乙氧基乙烷	1.3922
二乙基甲酮	1.3924
丙酸丙酯	1.3932
丙酸	1.3865
乙酸丁酯	1.3942
α-硝基丙烷	1.3943
甲基异丁基甲酮	1.3958
α-甲基-1-丙酮	1.3959
2-丁醇	1.3970
甲酸异戊酯	1.3970
辛烷	1.3974
丁酸	1.3980
1-丁醇	1.3992
二丁醚	1.3993
丁酸丙酯	1.3995
甲酸戊酯	1.3997
乙基丙基甲酮	1.4007
乙酸异戊酯	1.4007
甲基丁基甲酮	1.4007
丙酸丁酯	1.4010
1-硝基丙烷	1.4016
1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	1.4019
1-氯丁烷	1.4021
2-甲氧基乙醇	1.4021
乙酸戊酯	1.4028
1-甲氧基-2-丙醇	1.4034
2-甲基-2-丁醇	1.4048
α-氯-2-甲基乙烷	1.4050
1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷	1.4058
α-戊醇	1.4060
丁酸丁酯	1.4064
环戊烷	1.4065
3-甲基-1-丁醇	1.4067
α-氯戊烷	1.4069
四氢呋喃	1.4070
二丙基甲酮	1.4072
2-乙氧基乙醇	1.4075
1-乙氧基-2-丙醇	1.4075
4-氯-2-甲基乙烷	1.4084
二异戊基醚	1.4085
甲基戊基酮	1.4087
乙基丁基甲酮	1.4088
3-氯-2-二甲基丁烷	1.4095
2-异丙氧基乙醇	1.4095
2-甲基-1-丁醇	1.4098
1-戊醇	1.4103
3-氯戊烷	1.4104
3-戊醇	1.4104
二(2-乙氧乙基)醚	1.4115
二戊基醚	1.4120
1-氯戊烷	1.4125
乳酸乙酯	1.4125
1-氯-2-甲基丁烷	1.4126
二异丁基甲酮	1.4127
1,2-二丁氧基乙烷	1.4131
烯丙醇	1.4133
2-丙氧基乙醇	1.4133
乳酸甲酯	1.4141
甲基己基甲酮	1.4151
1,2-二乙酰氧基乙烷	1.4159
1,1-二氯乙烷	1.4167
1-丁氧基-2-丙醇	1.4170
1-己醇	1.4174
2-丁氧基乙醇	1.4193
1-丁氧基-2-乙酰氧基乙烷	1.4200
二己醚	1.4204
1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	1.421
1-(2-甲氧丙氧基)-2-丙醇	1.421
2-乙氧基-2'-乙酰氧基二乙基醚	1.4213
乳酸丁酯	1.4215
二噁烷	1.4224
甲基环己烷	1.4231
二(2-丁氧乙基)醚	1.4233
4-羟基-4-甲基-2-戊酮	1.4235
1-庚醇	1.4238
溴乙烷	1.4242
二氯甲烷	1.4244
2-溴丙烷	1.4251
环己烷	1.4262
2-丁氧基-2'-基二乙醚	1.4262
2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	1.4263
2-辛醇	1.4264
1-(2-正丁氧丙氧基)-2-丙醇	1.427
2-(2-乙氧乙氧基)乙醇	1.4273
2,5-己酮	1.4287
1-辛醇	1.4291
二甲基甲酰胺	1.4292
2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	1.4316
乙二醇	1.4318
三醋酸甘油酯	1.4318
1,2-丙二醇	1.4329
1-溴丙烷	1.4349
2,3-丁二醇	1.4377
1-氯-2-丙醇	1.4378
3-氯-1,2-环氧丙烷	1.4381
1,1,1-三氯乙烷	1.4383
2-氯-1-丙醇	1.4390
1,2-二氯丙烷	1.4390
1,3-丙二醇	1.4397
1,3-丁二醇	1.4398
二(2-氯异丙)醚	1.4413
乳酸	1.4414
乙酸环己酯	1.4417
2-氯乙醇	1.4420
二丙二醇	1.4440
1,2-二氯乙烷	1.4447
4-甲基环己酮	1.4451
反 1,2-二氯乙烯	1.4454
3-甲基环己酮	1.4457
氯仿	1.4458
2-甲基-2-戊烯-4-酮	1.4458
1,4-丁二醇	1.4467
二甘醇	1.4475
甲酰胺	1.4475
2-甲基环己酮	1.4477
顺 1,2-二氯乙烯	1.4490
环己酮	1.4502
乙酰丙酮	1.4504
四氢糠醇	1.4508
β-4-甲基环己醇	1.4534
乙醇胺	1.4539
α-4-甲基环己醇	1.4549
β-3-甲基环己醇	1.4550
二(2-氯乙氧基)甲烷	1.4553
三甘醇	1.4559
α-3-甲基环己醇	1.4572
二(2-氯乙)醚	1.4575
四氯化碳	1.4601
β-2-甲基环己醇	1.4611
α-2-甲基环己醇	1.4640
α-蒎烯	1.4658
环己醇	1.4666
反十氢化萘	1.4697

续表

名　称	折射率，n	名　称	折射率，n	名　称	折射率，n
1,1,2-三氯乙烷	1.4714	对二甲苯	1.4958	2-氯甲苯	1.5238
联戊烯	1.4739	乙苯	1.4959	氯苯	1.5241
甘油	1.4740	甲苯	1.4969	糠醛	1.5261
三氯乙烯	1.4775	间二甲苯	1.4972	1-苯基乙醇	1.5275
3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	1.4781	2,6-二甲基吡啶	1.4977	苯乙酮	1.5335
3-氯-1,2-丙二醇	1.4810	2-甲基吡啶	1.5010	2-苯氧基乙醇	1.5386
顺十氢化萘	1.4811	苯	1.5011	1,2-二溴乙烷	1.5387
α-氯-1,3-丙二醇	1.4831	2,4-二甲基吡啶	1.5012	苯甲醇	1.5404
1,2,3-三氯丙烷	1.4834	五氯乙烷	1.5030	四氢化萘	1.5414
1,3-二氯-2-丙醇	1.4838	四氯乙烯	1.5053	二溴乙烷	1.5419
2,3-二氯-1-丙醇	1.4839	邻二甲苯	1.5055	苯甲醛	1.5450
三乙醇胺	1.4852	4-甲基吡啶	1.5058	苯乙烯	1.5469
糠醇	1.4868	3-甲基吡啶	1.5068	1,2-二氯苯	1.5515
对异丙基甲苯	1.4909	吡啶	1.5094	硝基苯	1.5524
异丙苯	1.4915	4-氯甲苯	1.5199	溴苯	1.5597
1,1,2,2-四氯乙烷	1.4940	1,2-二溴丙烷	1.5201	苯胺	1.5855
		2-苯氧基乙醇	1.5233	二硫化碳	1.6280

表 1-51　20℃时溶剂的平均色散度(n_F-n_C)[1]

(按色散度递增顺序排列)

名　称	$(n_F-n_C)/10^{-4}$	名　称	$(n_F-n_C)/10^{-4}$	名　称	$(n_F-n_C)/10^{-4}$
甲醇	53	丙酮	67	辛烷	69
二甲氧基甲烷	57	乙酸丁酯	67	乙酸戊酯	70
1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	57	乙酸仲丁酯	67	甲酸戊酯	70
1,1-二甲氧基乙烷	60	甲酸丁酯	67	丁酸丁酯	70
甲酸甲酯	60	丁酸乙酯	67	丁酸	70
乙醇	61	1-氧基-2-乙酰氧基乙烷	67	环戊烷	70
乙酸甲酯	61	2-甲氧基乙醇	67	二丁醚	70
丙酸甲酯	61	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	67	二乙基酮	70
戊烷	61	庚烷	67	2-丙氧基乙醇	70
乙醚	62	乙酸异丁酯	67	2-甲基-1-丙醇	70
二异丙醚	62	甲酸异丁酯	67	甲基正丙基甲酮	70
二乙氧基甲烷	62	2-甲基-2-丙醇	67	二(2-乙氧乙基)醚	71
1,1-二乙氧基乙烷	63	丙酸	67	二异戊醚	71
碳酸二乙酯	63	甲酸丙酯	67	2-丁氧基乙醇	71
甲酸乙酯	63	丙酸丙酯	67	甲酸	71
乙酸乙酯	63	1-丁醇	68	2-甲基-1-丁醇	71
甲酸异丙酯	64	丙酸丁酯	68	3-甲基-1-丁醇	71
1,2-二甲氧基乙烷	65	2-乙氧基乙醇	68	甲基异丁基甲酮	71
丙酸乙酯	65	丁酸丙酯	68	1-戊醇	71
己烷	65	2-丁醇	69	2-戊醇	71
乙酸异丙酯	65	1-氯丙烷	69	3-戊醇	71
丁酸甲酯	65	2-氯丙烷	69	四氢呋喃	71
1-丙醇	65	二丙醚	69	1-氯丁烷	72
2-丙醇	65	乙酸异戊酯	69	二戊醚	72
乙酸丙酯	65	甲酸异戊酯	69	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	72
乙酸	66	丁酮	69	二丙基甲酮	72
丁基乙醚	66			乙基丁基甲酮	72

续表

名　称	$(n_F-n_C)/10^{-4}$
乳酸乙酯	72
乙基丙基甲酮	72
1-己醇	72
甲基丁基甲酮	72
2-氯-2-甲基乙烷	73
4-氯-2-甲基丁烷	73
1-氯戊烷	73
2-氯戊烷	73
3-氯戊烷	73
2-(2-乙氧乙氧基)乙醇	73
二己基醚	73
二噁烷	73
乙二醇	73
1-庚醇	73
甲基戊基甲酮	73
2-甲基-2-丁醇	73
β-3-甲基环己醇	73
β-4-甲基环己醇	～73
1,3-丙二醇	73
二异丁基甲酮	74
2-辛醇	74
环己烷	75
1,2-二乙酰氧基乙烷	75
三乙酸甘油酯	75
甲基环己烷	75
甲基己基丙酮	75
1,2-丙二醇	75
糠醇	75
乙酸环己酯	77
2-(2-正丁氧乙氧基)乙醇	77
乳酸	77
α-4-甲基环己醇	～77
2-氯乙醇	79
4-羟基-4-甲基-2-戊酮	79
1,1-二氯乙烷	79
二丙二醇	79
3-氯-1,2-环氧丙烷	～79
β-2-甲基环氧己醇	79
1-辛醇	79
二甘醇	80
乙二醇	80
α-3-甲基环己醇	～80
2-硝基丙烷	80
氯丙醇	81
环己醇	81
1,2-二氯乙烷	82
二氯甲烷	82
1,2-二氯丙烷	82
乙醇胺	82
2-甲基环己酮	82
3-甲基环己酮	82
4-甲基环己酮	82
1-硝基丙烷	82
二(2-氯乙基)醚	83
α-2-甲基环己醇	83
硝基乙烷	83
三甘醇	83
2,5-己二酮	84
3-氯-1,2-丙二醇	84
环己酮	85
顺十氢化萘	85
1,1,1-三氯乙烷	86
三乙醇胺	86
反十氢化萘	87
氯仿	88
硝基甲烷	88
1,2,3-三氯丙烷	90
1-溴丙烷	93
2-溴丙烷	93
1,1,2-三氯乙烷	93
溴乙烷	94
四氯化碳	94
烯丙醇	95
1,1,2,2-四氯乙烷	96
α-蒎烯	98
五氯乙烷	102
二甲替甲酰胺	107
顺 1,2-二氯乙烯	110
双戊烯	110
反 1,2-二氯乙烯	116
甲酰胺	118
三氯乙烯	126
糠醇	128
1,2-二溴丙烷	133
2-甲基-2-戊烯-4-酮	137
四氯乙烯	137
1,2-二溴乙烷	141
对异丙基苯甲烷	142
异丙苯	143
二溴甲烷	149
乙苯	152
2,4-二甲基吡啶	155
2,6-二甲基吡啶	156
1-苯基乙醇	156
间二甲苯	156
对二甲苯	157
4-甲基吡啶	158
2-甲基吡啶	159
邻二甲苯	159
甲苯	160
3-甲基吡啶	161
十氢化萘	162
4-氯甲苯	164
苯	167
2-氯甲苯	167
吡啶	167
苯甲醇	171
氯苯	172
乙酰丙酮	176
1,2-二氯苯	176
溴苯	193
苯乙酮	198
苯甲醛	232
苯乙烯	240
苯胺	249
硝基苯	258
糠醛	270
二硫化碳	343

① 在两种特定波长下测定的折射率之差称为该物质的平均色散度。所选测试波长分别为蓝光(486.1nm,H^{α} 线)和橙红光(656.3nm,H^{β} 线)。

表 1-52 20℃时溶剂的介电常数

（按碳原子数排列）

名　称	ε/(F·m^{-1})	名　称	ε/(F·m^{-1})	名　称	ε/(F·m^{-1})
四氯化碳	2.238	丁酸	2.97	丁酸乙酯	5.01
二硫化碳	2.65	1,1-二甲氧基乙烷	3.85	乙酸仲丁酯	5.1
氯仿	4.806	乙醚	4.335	丙酸丙酯	5.2
二溴甲烷	7.04	丙酸甲酯	6.1	乙酸异丁酯	5.29
二氯甲烷	9.08	乙酸乙酯	6.4	溴苯	5.53
甲胺	9.4	甲酸丙酯	7.2	氯苯	5.59
甲醇	32.64	1,2-二甲氧基乙烷	7.25	甲酸戊酯	5.6
甲酸	58.5	四氢呋喃	7.35	苯胺	6.81
甲酰胺	111.5	1-氯丁烷	7.38	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷	8.35
1,2-反二氯乙烯	2.15	2-甲基丙醇-2	12.6	2-丁氧基乙醇	9.4
四氯乙烯	2.29	2-乙氧基乙醇	13.5	2-甲基吡啶	10.0
三氯乙烯	3.27	丁醇-2	15.5	1,2-二氯苯	10.2
五氯乙烷	3.73	2-甲基丙醇-1	16.68	甲基丁基酮	12.2
1,2-二溴乙烷	4.8	正丁醇	17.4	甲基异丁基酮	13.11
甲醚	5.02	丁酮-2	18.51	正己醇	13.75
乙酸	6.15	二(2-氯乙基)醚	20.47	环己酮	15.2
1,1,1-三氯乙烷	7.10	1,4-丁二醇	31.1	2-甲基-2-戊烯酮-4	15.4
1,1,2-三氯乙烷	7.12	戊烷	1.844	环己醇	15.9
1,1,2,2-四氯乙烷	8.20	环戊烷	1.965	4-羟基-4-甲基戊酮-2	22.7
甲酸甲酯	8.8	碳酸二乙酯	2.82	硝基苯	35.96
顺1,2-二氯乙烯	9.31	二乙氧基甲烷	2.885	庚烷	1.926
溴乙烷	9.41	丙酸乙酯	5.6	甲基环己烷	2.020
1,2-二氯乙烷	10.45	丁酸甲酯	5.6	甲苯	2.335
1,1-二氯乙烷	10.9	乙酸丙酯	5.6	丁酸丙酯	4.3
乙醇	25.0	甲酸异丁酯	5.93	丙酸丁酯	4.5
硝基乙烷	30.3	甲酸正丁酯	6.2	2-二氯甲苯	4.73
乙二醇	38.68	2-甲基丁醇-2	7	乙酸戊酯	4.75
丙酸	3.22	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	8.25	乙酸异戊酯	4.8
二甲氧基甲烷	3.485	戊醇-3	~13.0	4-氯甲苯	6.19
1,2-二溴丙烷	4.35	乳酸乙酯	13.1	甲基戊基酮	11.95
乙酸甲酯	7.08	吡啶	13.3	正庚醇	12.1
1,2,3-三氯丙烷	~7.5	戊醇-2	13.8	3-甲基环己醇	12.34
1-氯丙烷	7.7	正戊醇	14.5	4-甲基环己酮	12.35
1-溴丙烷	8.27	3-甲基丁醇-1	14.7	3-甲基环己酮	12.4
1,2-二氯丙烷	8.92	甲基丙基酮	15.45	二丙基酮	12.6
2-溴丙烷	9.7	二乙酮	17.00	乙基丁基酮	12.9
2-氯丙烷	9.82	糠醇	17.45	2-甲基环己醇	13.3
1,3-二氯-丙醇-2	~15.5	乙酰丙酮	25.1	4-甲基环己醇	13.3
2,3-二氯-丙醇-1	~16.1	糠醛	41.9	苯甲醇	13.5
异丙醇	18.3	己烷	1.890	2-甲基环己酮	14.0
正丙醇	20.1	环己烷	2.055	辛烷	1.948
烯丙醇	~11	苯	2.284	对二甲苯	2.270
丙酮	21.45	二丙醚	3.4	间二甲苯	2.374
3-氯-1,2-环氧丙烷	23	二异丙醚	3.95	乙苯	2.412
丙二醇-1,2	32.0	1,1-二乙氧基乙烷	3.97	苯乙烯	2.415
丙二醇-1,3	35.0	甲酸异戊酯	4.98	邻二甲苯	2.568
甘油	41.14	乙酸丁酯	5.01	二丁醚	3.1
二噁烷	2.25				

续表

名　称	ε/(F·m⁻¹)	名　称	ε/(F·m⁻¹)	名　称	ε/(F·m⁻¹)
丁酸丁酯	4.1	异丙苯	2.380	对异丙基苯甲烷	2.243
辛醇-2	8.20	三乙酸甘油酯	7.22	α-蒎烯	2.75
正辛醇	10.3	苯乙酮	18.2	四氢化萘	2.757
甲基己基酮	10.39	反十氢化萘	2.172	二正戊醚	2.8
苯甲酮	17.8	顺十氢化萘	2.197	二异戊醚	2.82

表 1-53　水与有机溶剂的混合液在 20℃ 时的介电常数

水的质量分数 $w/(\%)$	有机溶剂-水混合液的介电常数 $\varepsilon/(F \cdot m^{-1})$					
	甲　醇	乙　醇	异丙醇	乙二醇	丙　酮	二噁烷
10	75.8	74.6	73.1	77.5	74.8	65.7
20	71.0	68.7	65.7	74.6	68.6	62.4
30	66.0	62.6	58.4	71.6	62.5	59.2
40	61.2	56.5	51.1	68.4	56.0	56.3
50	56.5	50.4	43.7	64.9	49.5	53.4
60	46.5	44.7	36.3	61.1	42.9	50.8
70	41.5	39.1	29.6	56.3	36.5	48.2
80	36.8	33.9	24.4	50.6	30.3	45.8
90	32.4	29.0	20.9	44.9	24.6	--

表 1-54　不同温度下水的介电常数

t/℃	ε/(F·m⁻¹)	t/℃	ε/(F·m⁻¹)	t/℃	ε/(F·m⁻¹)
0	87.90	35	74.85	70	63.78
5	85.90	40	73.15	75	62.34
10	83.95	45	71.50	80	60.93
15	82.04	50	69.88	85	59.55
20	80.18	55	68.30	90	58.20
25	78.36	60	66.76	95	56.88
30	76.58	65	65.25	100	55.58

表 1-55　20℃ 时溶剂的混溶度

表中符号说明："＋"表示溶剂按任何比例混溶；"○"表示溶剂部分混溶或基本上不混溶；a 表示溶剂在低温(<20℃)下部分混溶，在高温(>20℃)下完全混溶。

分子式	名　称	己烷	环己烷	四氯化碳	苯	二硫化碳	乙醚	氯仿	乙酸乙酯	丙酮	乙醇	甲醇	硝基甲烷	乙二醇
CCl_4	四氯化碳	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
CS_2	二硫化碳	+	+	+	+		+	+	+	+	+	○	○	○
$CHCl_3$	氯仿	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	○
CH_2Br	二溴甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
CH_2Cl_2	二氯甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
CH_3NO	甲酰胺	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+
CH_3NO_2	硝基甲烷	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+	+		○
CH_4O	甲醇	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+		+	+
C_2Cl_4	四氯乙烯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
C_2HCl_3	三氯乙烯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_2HCl_5	五氯乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_2H_2Cl_4$	1,1,2,2-四氯乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_2H_4Br_2$	1,2-二溴乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○

续表

分子式	名称	己烷	环己烷	四氯化碳	苯	二硫化碳	乙醚	氯仿	乙酸乙酯	丙酮	乙醇	甲醇	硝基甲烷	乙二醇
$C_2H_4Cl_2$	1,2-二氯乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_2H_4O_2$	甲酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	a
C_2H_5Br	溴乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_2H_5ClO	2-氯乙醇	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_2H_6O	乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
$C_2H_6O_2$	乙二醇	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	○	
C_2H_7NO	乙醇胺	○	○	○	○	○	○	+	○	+	+	+	+	+
C_3H_6O	丙酮	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
C_3H_5O	烯丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
$C_3H_6O_2$	甲酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_3H_6O_2$	乙酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_3H_7Br	1-溴丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_3H_7Br	2-溴丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_3H_7ClO	氯丙醇(同分异构体混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_3H_7NO	二甲基甲酰胺	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_3H_7NO	1-硝基丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_3H_7HO_2$	2-硝基丙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_3H_8O	1-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_3H_8O	2-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_3H_8O_2$	2-甲氧基乙醇	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_3H_8O_2$	二甲氧基甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_3H_8O_2$	1,2-丙二醇	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+
$C_3H_8O_2$	1,3-丙二醇	○	○	○	○		○	○		+	+	+	○	+
$C_3H_8O_3$	丙三醇	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	○	+
C_4H_8ClO	2-(2-氯乙基)醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_4H_8O	丁酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_4H_8O	四氢呋喃	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_8O_2$	二噁烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_8O_2$	乙酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	○
$C_4H_8O_2$	甲酸异丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_4H_8O_2$	丙酸甲酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_4H_8O_2$	甲酸丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_4H_{10}O$	1-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O$	2-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{18}O$	乙醚	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	○
$C_4H_{10}O$	2-甲基-1-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O$	2-甲基-2-丙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O_2$	1,1-二甲氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_4H_{10}O_2$	1,3-丁二醇	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	○	+
$C_4H_{10}O_2$	1,4-丁二醇	○	○	○	○	○	○	○	○	+	+	+	○	+
$C_4H_{10}O_2$	2,3-丁二醇	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O_2$	1,2-二甲氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O_2$	2-乙氧基乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_4H_{10}O_3$	二甘醇	○	○	○	○	○	○	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_4O_2$	糠醛	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_5H_5N	吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_6O_2$	糠醇	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

续表

分子式	名称	己烷	环己烷	四氯化碳	苯	二硫化碳	乙醚	氯仿	乙酸乙酯	丙酮	乙醇	甲醇	硝基甲烷	乙二醇
$C_5H_8O_2$	乙酰丙酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	甲酸丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	丙酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	甲酸异丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	乙酸异丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	乙酸丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_5H_{10}O_2$	四氢糠醇	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_{10}O_3$	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_{10}O_3$	乳酸乙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_5H_{12}	戊烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_5H_{12}O$	2-甲基-2-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_5H_{12}O$	3-甲基-1-丁醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_5H_{12}O$	1-戊醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_5H_{12}O_2$	二乙氧基甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_5Br	溴苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_5Cl	氯苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_5NO_2$	硝基苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_6	苯	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_7N	苯胺	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_6H_7N	2-甲基吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_6H_7N	3-甲基吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_6H_7N	4-甲基吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{10}O$	环己酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{10}O$	2-甲基-2-戊烯-4-酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{10}O_2$	2,5-己二醇	○	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_6H_{12}	环己烷	+		+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_6H_{12}O$	环己醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_6H_{12}O$	甲基异丁基甲酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	甲酸戊酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	乙酸丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	乙酸仲丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{12}O_2$	甲酸异戊酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	乙酸异丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_2$	丙酸丙酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{12}O_3$	1-乙氧基-2-乙酰基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_6H_{14}	己烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_6H_{14}O$	二异丙醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{14}O$	1-己醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_6H_{14}O_2$	1,1-二乙氧基乙烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_6H_{14}O_2$	2-丁氧基乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{14}O_3$	二丙二醇	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{14}O_4$	三甘醇	○	○	○①	○②	○	○	+	+	+	+	+	+	+
$C_6H_{15}NO_3$	三乙醇胺	○	○	○	○	○	○	+	○	+	+	+	+	+
C_7H_6O	苯甲醛	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_7H_8	甲苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_7H_8O	苯乙醇	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

续表

分子式	名　称	己烷	环己烷	四氯化碳	苯	二硫化碳	乙醚	氯仿	乙酸乙酯	丙酮	乙醇	甲醇	硝基甲烷	乙二醇
C_7H_9N	2,4-二甲基吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_7H_9N	2,6-二甲基吡啶	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
C_7H_{14}	甲基环己烷	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_7H_{14}O$	甲基环己醇(异构体混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_7H_{14}O_2$	乙酸戊酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_7H_{14}O_2$	丙酸丁酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_7H_{14}O_2$	乙酸异戊酯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_7H_{16}	庚烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_7H_{16}O$	1-庚醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
C_8H_8	苯乙烯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_8H_8O	苯乙酮	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_8H_{10}	乙苯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_8H_{10}	甲苯(异构体的混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
C_8H_{18}	辛烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_8H_{18}O$	二丁醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○
$C_8H_{18}O$	1-辛醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_8H_{18}O$	2-辛醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+
$C_8H_{18}O_3$	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$C_9H_{14}O_6$	三乙酸甘油酯	○	○	+	+	○	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_{10}H_{12}$	四氢化萘	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_{10}H_{12}$	对丙基苯甲烷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○
$C_{10}H_{16}$	α-蒎烯	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○
$C_{10}H_{18}$	十氢化萘(异构体的混合物)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○	○	○
$C_{10}H_{22}O$	二戊醚	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	○

① 溶剂之间分层不明显，可在溶剂中加入适当的染料(如：甲基红)，所加入的染料在溶剂中具有不同的溶解度。

② 三甘醇和苯在 1+1 的情况下形成均相混合物，但加入过量的苯后，则分为两层。

表 1-56　溶剂的饱和蒸气压

分子式	名　称	蒸气压 P/mmHg①									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温　度 t/℃									
CCl_3F	三氯一氟甲烷	−84.3	−67.6	−59.0	−49.7	−39.0	−32.3	−23.0	−9.1	+6.8	23.7
CCl_4	四氯化碳	−50	−30.0	−19.6	−8.2	+4.3	12.3	23.0	38.3	57.8	76.7
CS_2	二硫化碳	−73.8	−54.3	−44.7	−34.3	−22.5	−15.3	−5.1	+10.4	28.0	46.5
$CHCl_3$	氯仿	−58.0	−39.1	−29.7	−19.0	−7.1	+0.5	10.4	25.9	42.7	61.3
CH_2Br_2	二溴甲烷	−35.1	−13.2	−2.4	+9.7	23.3	31.6	42.3	58.5	79.0	98.6
CH_2Cl_2	二氯甲烷	−70.0	−52.1	−43.3	−33.4	−22.3	−15.7	−6.3	+8.0	24.1	40.7
CH_2O_2	甲酸	−20.0	−5.0	+2.1	10.3	24.0	32.4	43.8	61.4	80.3	100.6
CH_3NO	甲酰胺	70.5	96.3	109.5	122.5	137.5	147.0	157.5	175.5	193.5	210.5
CH_3NO_2	硝基甲烷	−29.0	−7.9	+2.8	14.1	27.5	35.5	46.6	63.5	82.0	101.2
CH_4O	甲醇	−44.0	−25.3	−16.2	−6.0	+5.0	12.1	21.2	34.8	49.9	64.7
$C_2Cl_3F_3$	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	−68.0	−49.4	−40.3	−30.0	−18.5	−11.2	−1.7	+13.5	30.2	47.6
C_2Cl_4	四氯乙烯	−20.6	+2.4	13.8	26.3	40.1	49.2	61.3	79.8	100.0	120.8
C_2HCl_3	三氯乙烯	−43.8	−22.8	−12.4	−1.0	+11.9	20.0	31.4	48.0	67.0	86.7
C_2HCl_5	五氯乙烷	1.0	27.2	39.8	53.9	69.9	80.0	93.5	114.0	137.2	160.5
$C_2H_2Cl_2$	顺 1,2-二氯乙烯	−58.4	−39.2	−29.9	−19.4	−7.9	−0.5	+9.5	24.6	41.0	59.0

续表

分子式	名　称	蒸气压 P/mmHg[1]									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温　度 t/℃									
$C_2H_2Cl_2$	反1,2-二氯乙烯	−65.4	−47.2	−38.0	−28.0	−17.0	−10.0	−0.2	+14.3	30.8	47.8
$C_2H_2Cl_4$	1,1,2,2-四氯乙烷	−3.8	+20.7	33.0	46.2	60.8	70.0	83.2	102.2	124.0	145.9
$C_2H_3Cl_3$	1,1,1-三氯乙烷	−52.0	−32.0	−21.9	−10.8	+1.6	9.5	20.0	36.2	54.6	74.1
$C_2H_3Cl_3$	1,1,2-三氯乙烷	−24.0	−2.0	+8.3	21.6	35.2	44.0	55.7	73.3	93.0	113.9
$C_2H_4Br_2$	1,2-二溴乙烷	−27.0	+4.7	18.6	32.7	48.0	57.9	70.4	89.8	110.1	131.5
$C_2H_4Cl_2$	1,1-二氯乙烷	−60.7	−41.9	−32.3	−21.9	−10.2	−2.9	+7.2	22.4	39.8	57.4
$C_2H_4Cl_2$	1,2-二氯乙烷	−44.5	−24.0	−13.6	−2.4	+10.0	18.1	29.4	45.7	64.0	82.4
$C_2H_4O_2$	乙酸	−17.2	+6.3	17.5	29.9	43.0	51.7	63.0	80.0	99.0	118.1
$C_2H_4O_2$	甲酸甲酯	−74.2	−57.0	−48.6	−39.2	−28.7	−21.9	−12.9	+0.8	16.0	32.0
C_2H_5Br	溴乙烷	−74.3	−56.4	−47.5	−37.8	−26.7	−19.5	−10.0	+4.5	21.0	38.4
C_2H_5ClO	2-氯乙醇	−4.0	+19.0	30.3	42	56.0	64.1	75.0	91.8	110.0	128.8
$C_2H_5NO_2$	硝基乙烷	−21.0	+1.5	12.5	24.8	38.0	46.5	57.8	74.8	94.0	114.0
C_2H_6O	乙醇	−31.3	−12.0	−2.3	+8.0	19.0	26.0	34.9	48.4	63.5	78.4
$C_2H_6O_2$	乙二醇	53.0	79.7	92.1	105.8	120.0	129.5	141.8	158.5	178.5	197.3
C_2H_7NO	乙醇胺	32.5	56.5	68.0	81.0	95.0	103.5	115.0	132.5	152.0	171.1
C_3H_5ClO	3-氯-1,2-环氧丙烷		5.0	15.8	27.7	41.0	49.2	60.5	77.5	96.5	116.1
$C_3H_5Cl_3$	1,2,3-三氯丙烷	1.2	26.5	39.0	52.5	68.0	77.5	90.5	110.0	132.5	156.0
$C_3H_6Br_2$	1,2-二溴丙烷	−7.2	+17.3	29.4	42.3	57.2	66.4	78.7	97.8	118.5	141.6
$C_3H_6Cl_2$	1,2-二氯丙烷	−38.5	−17.0	−6.1	+6.0	19.4	28.0	39.4	57.0	76.0	96.8
$C_3H_6Cl_2O$	1,3-二氯-2-丙醇	28.0	52.2	64.7	78.0	93.0	102.0	114.8	133.3	153.5	174.3
$C_3H_6Cl_2O$	2,3-二氯-1-丙醇	36.0	61.0	73.5	86.8	101.5	110.0	123.0	141.0	161.5	182.0
C_3H_6O	丙酮	−59.4	−40.5	−31.1	−20.8	−9.4	−2.0	+7.7	22.7	39.5	56.5
C_3H_6O	烯丙醇	−20.0	+0.2	10.5	21.7	33.4	40.3	50.0	64.5	80.2	96.6
C_3H_6O	1,2-环氧丙烷	−75.0	−57.8	−49.0	−39.3	−28.4	−21.3	−12.0	+2.1	17.8	34.5
$C_3H_6O_2$	甲酸乙酯	−60.5	−42.2	−33.0	−22.7	−11.5	−4.3	+5.4	20.0	37.1	54.3
$C_3H_6O_2$	乙酸甲酯	−57.2	−38.6	−29.3	−19.1	−7.9	−0.5	+9.4	24.0	40.0	57.8
$C_3H_6O_2$	丙酸	4.6	28.0	39.7	52.0	65.8	74.1	85.8	102.5	122.0	141.1
C_3H_7Br	1-溴丙烷	−53.0	−33.4	−23.3	−12.4	−0.3	+7.5	18.0	34.0	52.0	71.0
C_3H_7Br	2-溴丙烷	−61.8	−42.5	−32.8	−22.0	−10.1	−2.5	+8.0	23.8	41.5	60.0
C_3H_7Cl	1-氯丙烷	−68.3	−50.0	−41.0	−31.0	−19.5	−12.1	−2.5	+12.2	29.4	46.4
C_3H_7Cl	2-氯丙烷	−78.8	−61.1	−52.0	−42.0	−31.0	−23.5	−13.7	+1.3	18.1	36.5
C_3H_7ClO	1-氯-2-丙醇	−0.2	+20.5	31.0	43.0	56.0	64.0	75.0	91.0	109.0	127.5
$C_3H_7ClO_2$	3-氯-1,2-丙二醇	72.5	99.0	112.0	126.0	141.0	150.0	163.0	182.0	202.0	213.0
C_3H_7NO	二甲基甲酰胺	5.5	29.7	42.0	55.2	70.0	79.0	91.5	110.0	131.0	153.0
$C_3H_7NO_2$	1-硝基丙烷	−9.6	+13.5	25.3	37.9	51.8	60.5	72.3	90.2	110.6	131.6
$C_3H_7NO_2$	2-硝基丙烷	−18.8	+4.1	15.8	28.2	41.8	50.3	62.0	80.0	99.8	120.3
C_3H_8O	1-丙醇	−15.0	+5.0	14.7	25.3	36.4	43.5	52.8	66.8	82.0	97.8
C_3H_8O	2-丙醇	−26.1	−7.0	+2.4	12.7	23.8	30.5	39.5	53.0	67.8	82.5
$C_3H_8O_2$	2-甲氧基乙醇	−5.0	+17.5	28.0	40.0	53.0	61.0	72.0	88.0	106.0	124.6
$C_3H_8O_2$	二甲氧基甲烷								8.5	25.0	42.3
$C_3H_8O_2$	1,2-丙二醇	45.5	70.8	83.2	96.4	111.2	119.9	132.0	149.7	168.1	188.2
$C_3H_8O_2$	1,3-丙二醇	59.4	87.2	100.6	115.8	131.0	141.1	153.4	172.8	193.8	214.2
$C_3H_8O_3$	甘油	125.5	153.8	167.2	182.2	198.0	208.0	220.1	240.0	263.0	290.0
$C_4H_8Cl_2O$	二(2-氯乙基)醚	23.5	49.3	62.0	76.0	91.5	101.5	114.5	134.0	155.4	178.5
C_4H_8O	甲乙酮	−48.3	−28.0	−17.7	−6.5	+6.0	14.0	25.0	41.6	60.0	79.6
C_4H_8O	四氢呋喃						1.0	12.0	28.2	46.5	66.0
$C_4H_8O_2$	丁酸	25.5	49.8	61.5	74.0	88.0	96.5	108.0	125.5	144.5	163.5

续表

分子式	名　　称	蒸气压 P/mmHg[①]									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温　度　t/℃									
$C_4H_8O_2$	二噁烷	−35.8	−12.8	−1.2	+12.0	25.2	33.8	45.1	62.3	81.8	101.1
$C_4H_8O_2$	乙酸乙酯	−43.4	−23.5	−13.5	−3.0	+9.1	16.6	27.0	42.0	59.3	77.1
$C_4H_8O_2$	甲酸异丙酯	−52.0	−32.7	−22.7	−12.1	−0.2	+7.5	17.8	33.6	50.5	68.3
$C_4H_8O_2$	丙酸甲酯	−42.0	−21.5	−11.8	−1.0	+11.0	18.7	29.0	44.2	61.8	79.8
$C_4H_8O_2$	甲酸丙酯	−43.0	−22.7	−12.6	−1.7	+10.8	18.8	29.5	45.3	62.6	81.3
$C_4H_8O_3$	乳酸甲酯	7.2	30.5	42.0	54.5	68.0	76.5	88.5	105.5	125.0	145.0
C_4H_9Cl	1-氯丁烷	−49.0	−28.9	−18.6	−7.4	+5.0	13.0	24.0	40.0	58.8	77.8
$C_4H_{10}O$	1-丁醇	−1.2	+20.0	30.2	41.5	53.4	60.3	70.1	84.3	100.8	117.5
$C_4H_{10}O$	2-丁醇	−12.2	+7.2	16.9	27.3	38.1	45.2	54.1	67.9	83.9	99.5
$C_4H_{10}O$	乙醚	−74.3	−56.9	−48.1	−38.5	−27.7	−21.8	−11.5	+2.2	17.9	34.6
$C_4H_{10}O$	2-甲基-1-丙醇	−9.0	+11.0	21.7	32.4	44.1	51.7	61.5	75.9	91.4	108.0
$C_4H_{10}O$	2-甲基-2-丙醇	−20.4	−3.0	+5.5	14.3	24.5	31.0	39.8	52.7	68.0	82.9
$C_4H_{10}O_2$	1,1-二甲氧基乙烷						3.5	13.5	28.5	46.0	64.3
$C_4H_{10}O_2$	1,3-丁二醇	60.0	85.5	98.3	112.0	127.0	136.0	148.5	167.5	187.5	207.4
$C_4H_{10}O_2$	1,4-丁二醇	78.8	105.5	118.0	132.5	147.5	157.0	170.0	187.0	209.0	228.0
$C_4H_{10}O_2$	2,3-丁二醇	44.0	68.4	80.3	93.4	107.8	116.3	127.8	145.6	164.0	182.0
$C_4H_{10}O_2$	1,2-二甲氧基乙烷			−14.0	−1.0	+11.5	19.5	30.5	47.5	66.0	85.2
$C_4H_{10}O_2$	2-乙氧基乙醇	2.0	24.5	35.5	47.5	61.0	69.0	80.5	97.5	116.0	135.1
$C_4H_{10}O_2$	1-甲氧基-2-丙醇	−10.0	+13.5	24.5	36.3	49.0	57.0	68.0	84.5	102.0	120.6
$C_4H_{10}O_3$	二甘醇	91.8	120.0	133.8	148.0	164.3	174.0	187.5	207.0	226.5	244.8
$C_5H_4O_2$	糠醛	18.5	42.6	54.8	67.8	82.1	91.5	103.4	121.8	141.8	161.8
C_5H_5N	吡啶	−18.9	+2.5	13.2	24.8	38.0	46.8	57.8	75.0	95.6	115.4
$C_5H_6O_2$	糠醇	31.8	56.0	68.0	81.0	95.7	104.0	115.9	133.1	151.8	170.0
$C_5H_8O_2$	乙酰丙酮	−10.0	+14.5	26.0	39.5	54.0	63.0	75.0	94.0	115.0	137.0
C_5H_{10}	环戊烷	−68.0	−49.6	−40.4	−30.1	−18.6	−11.3	−1.3	+13.8	31.0	49.3
$C_5H_{10}Cl_2O_2$	二(2-氯乙氧基)甲烷	53.0	80.4	94.0	109.5	125.5	135.8	149.6	170.0	192.0	215.0
$C_5H_{10}O$	二乙酮	−12.7	+7.5	17.2	27.9	39.4	46.7	56.2	70.6	86.3	102.7
$C_5H_{10}O$	甲基丙基甲酮	−12.0	+8.0	17.9	28.5	39.8	47.3	56.8	71.0	86.8	103.3
$C_5H_{10}O_2$	甲酸丁酯	−26.4	−4.7	+6.1	18.0	31.6	39.8	51.0	67.9	86.2	106.0
$C_5H_{10}O_2$	丙酸乙酯	−28.0	−7.2	+3.4	14.3	27.2	35.1	45.2	61.7	79.8	99.1
$C_5H_{10}O_2$	甲酸异丁酯	−32.7	−11.4	−0.8	+11.0	24.1	32.4	43.4	60.0	79.0	98.2
$C_5H_{10}O_2$	乙酸异丙酯	−38.3	−17.4	−7.2	+4.2	17.0	25.1	35.7	51.7	69.8	89.0
$C_5H_{10}O_2$	丁酸甲酯	−26.8	−5.5	+5.0	16.7	29.6	37.4	48.0	64.3	83.1	102.3
$C_5H_{10}O_2$	乙酸丙酯	−26.7	+5.4	+5.0	16.0	28.8	37.0	47.8	64.0	82.0	101.8
$C_5H_{10}O_2$	糖醇	36.0	60.0	72.1	85.5	99.5	108.0	120.0	137.5	157.5	177.0
$C_5H_{10}O_3$	碳酸二乙酯	−10.1	+12.3	23.8	36.0	49.5	57.9	69.7	86.5	105.8	125.8
$C_5H_{10}O_3$	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	10.5	33.5	45.0	57.0	70.5	78.5	90.0	107.0	125.5	145.1
$C_5H_{10}O_3$	乳酸乙酯	16.0	39.5	51.0	63.8	77.5	86.0	97.5	115.0	134.0	154.0
$C_5H_{11}Cl$	1-氯戊烷			3.0	15.4	28.6	37.2	49.0	67.0	86.5	107.8
C_5H_{12}	戊烷	−76.6	−62.5	−50.1	−40.2	−29.2	−22.2	−12.6	+1.9	18.5	36.1
$C_5H_{12}O$	2-甲基-1-丙醇	7.5	28.5	39.0	50.0	62.5	70.0	80.0	95.0	111.5	128.8
$C_5H_{12}O$	3-甲基-1-丁醇	9.5	31.0	41.5	53.0	65.5	72.5	83.5	98.0	115.0	132.0
$C_5H_{12}O$	2-甲基-2-丁醇	−12.9	+7.2	17.2	27.9	38.8	46.0	55.3	69.7	85.7	101.7
$C_5H_{12}O$	1-戊醇	13.6	34.7	44.9	55.8	68.0	75.5	85.8	102.0	119.8	137.8
$C_5H_{12}O$	2-戊醇	1.5	22.7	32.2	42.6	54.1	61.5	70.7	85.7	102.3	119.7
$C_5H_{12}O$	3-戊醇	−6.0	+17.0	27.3	38.3	50.5	58.0	68.0	83.2	99.5	116.1
$C_5H_{12}O_2$	二乙氧基甲烷				2.5	15.0	22.5	33.5	49.5	68.0	87.9

续表

分子式	名称	蒸气压 P/mmHg①									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温度 t/℃									
$C_5H_{12}O_2$	1-乙氧基-2-丙醇	−6.0	+19.0	30.3	42.8	56.2	64.5	76.3	93.5	112.5	132.2
$C_5H_{12}O_3$	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	43.0	68.8	81.5	95.5	110.5	119.5	133.0	152.0	173.5	194.2
$C_6H_4Cl_2$	1,2-二氯苯	20.0	46.0	59.1	73.4	89.4	99.5	112.9	133.4	155.8	179.0
C_6H_5Br	溴苯	2.9	27.8	40.0	53.8	68.6	78.1	90.8	110.1	132.3	156.2
C_6H_5Cl	氯苯	−13.0	+10.6	22.2	35.3	49.7	58.3	70.7	89.4	110.0	132.2
$C_6H_5NO_2$	硝基苯	44.4	71.6	84.9	99.3	115.4	125.8	139.9	161.2	185.8	210.6
C_6H_6	苯	−36.7	−19.6	−11.5	−2.6	+7.6	15.4	26.1	42.2	60.6	80.1
C_6H_7N	苯胺	34.8	57.9	69.4	82.0	96.7	106.0	119.9	140.1	161.9	184.4
C_6H_7N	2-甲基吡啶	−11.1	+12.6	24.4	37.4	51.2	59.9	71.4	89.0	108.4	128.8
$C_6H_{10}O$	环己酮	1.4	26.4	38.7	52.5	67.8	77.5	90.4	110.3	132.5	155.6
$C_6H_{10}O$	2-甲基-2-戊烯-4-酮		11.8	23.5	36.0	50.0	58.5	70.3	88.5	108.6	129.8
$C_6H_{10}O_2$	2,5-己二醇	36.5	62.5	75.4	89.5	105.5	114.5	128.0	147.5	169.5	191.4
$C_6H_{10}O_4$	1,2-二乙酰氧基乙烷	38.3	64.1	77.1	90.8	106.1	115.8	128.0	147.8	168.3	190.5
C_6H_{12}	环己烷	−45.3	−25.4	−15.9	−5.0	+6.7	14.7	25.5	42.0	60.8	80.7
$C_6H_{12}Cl_2O$	二(2-氯异戊)醚	28.5	55.0	68.0	82.5	98.0	107.5	121.0	142.0	164.0	187.0
$C_6H_{12}O$	环己醇	21.0	44.0	56.0	68.8	83.0	91.8	103.7	121.7	141.4	161.0
$C_6H_{12}O$	甲基丁基甲酮	7.7	28.8	38.8	50.0	62.0	69.8	79.8	94.3	111.0	127.5
$C_6H_{12}O$	甲基异丁基甲酮		1.0	12.0	24.5	37.7	46.0	58.0	75.5	95.0	115.1
$C_6H_{12}O_2$	乙酸丁酯		13.0	24.0	36.5	49.5	58.0	69.5	87.0	105.5	125.6
$C_6H_{12}O_2$	乙酸仲丁酯			9.5	21.5	35.0	43.5	55.0	72.5	92.0	112.2
$C_6H_{12}O_2$	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	20.0	45.0	57.5	71.0	85.6	95.0	107.5	126.5	147.5	169.2
$C_6H_{12}O_2$	丁酸丁酯	−18.4	+4.0	15.3	27.8	41.5	50.1	62.0	79.8	180.0	121.0
$C_6H_{12}O_2$	甲酸异戊酯	−17.5	+5.4	27.1	30.0	44.0	53.3	65.4	83.2	102.7	123.3
$C_6H_{12}O_2$	乙酸异丁酯	−21.2	+1.4	12.8	25.5	39.2	48.0	59.7	77.6	97.5	118.0
$C_6H_{12}O_2$	丙酸丙酯	−14.2	+8.0	19.4	31.6	45.0	53.8	62.5	82.7	102.0	122.4
$C_6H_{12}O_3$	1-乙氧基-2 乙酰氧基乙烷	17.5	41.5	53.0	66.0	79.5	88.0	100.0	117.5	137.0	156.4
C_6H_{14}	己烷	−53.9	−34.5	−25.0	−14.1	−2.3	+5.4	15.8	31.6	49.6	68.7
$C_6H_{14}O$	丁基乙基醚		−18.0	−7.0	+5.0	18.5	27.0	37.9	54.2	74.0	92.2
$C_6H_{14}O$	二异丙醚	−57.0	−37.4	−27.4	−16.7	−4.5	+3.4	13.7	30.0	48.2	67.5
$C_6H_{14}O$	二丙醚	−43.3	−22.3	−11.8	0.0	+13.2	21.6	33.0	50.3	69.5	89.5
$C_6H_{14}O$	1-己醇	24.4	47.2	58.2	70.3	83.7	92.0	102.8	119.6	138.0	157.0
$C_6H_{14}O_2$	1,1-二乙氧基乙烷	−23.0	−2.3	+8.0	19.6	31.9	39.8	50.1	66.3	84.0	102.2
$C_6H_{14}O_2$	1,2-二乙氧基乙烷		9.5	20.5	32.7	46.0	54.5	65.5	83.0	101.5	121.1
$C_6H_{14}O_2$	2-丁氧基乙醇	22.5	47.5	60.0	73.5	88.0	98.0	110.0	129.3	150.0	172.0
$C_6H_{14}O_3$	2-(2-乙氧乙氧基)乙醇	45.3	72.0	85.8	100.3	116.7	126.8	140.0	159.0	180.3	201.9
$C_6H_{14}O_3$	二丙醇	73.8	102.1	116.2	131.3	147.4	156.5	169.9	189.9	210.5	231.8
$C_6H_{14}O_4$	三甘醇	119.0	148.0	162.0	177.0	193.0					287.4
C_7H_6O	苯甲醛	26.2	50.1	62.0	75.0	90.1	99.6	112.5	131.7	154.1	179.0
C_7H_7Cl	2-氯甲苯	5.4	30.6	43.2	56.9	72.0	81.8	94.7	115.0	137.1	159.3
C_7H_7Cl	4-氯甲苯	5.5	31.0	43.8	57.8	73.5	83.3	96.6	117.1	139.8	162.3
C_7H_8	甲苯	−26.7	−4.4	+6.4	18.4	31.8	40.3	51.9	69.5	89.5	110.6
C_7H_8O	苯甲醇	58.0	80.8	92.6	105.8	119.8	129.3	141.7	160.0	183.0	204.7
C_7H_{14}	甲基环己烷	−35.9	−14.0	−3.2	+8.7	22.0	30.5	42.1	59.6	79.6	100.9
$C_7H_{14}O$	二丙基甲酮	−5.0	+19.5	31.5	45.0	59.5	68.5	81.0	100.0	121.0	143.7
$C_7H_{14}O$	乙基丁基甲酮	0.0	24.0	36.0	49.5	64.0	73.0	85.5	104.5	125.0	147.4
$C_7H_{14}O$	甲基戊基甲酮	6.5	30.2	42.5	55.5	69.7	78.5	90.5	109.0	129.2	150.4
$C_6H_{14}O$	乙酸戊酯		15.5	28.0	42.0	57.5	67.0	80.5	101.0	124.0	149.2

续表

分子式	名称	蒸气压 P/mmHg①									
		1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
		温度 t/℃									
$C_7H_{14}O_2$	丙酸丁酯	0.0	24.0	36.0	49.0	63.5	72.5	85.0	104.0	124.5	146.8
$C_7H_{14}O_2$	乙酸异戊酯	0.0	23.7	35.2	47.8	62.1	71.0	83.2	101.3	121.5	142.0
$C_7H_{14}O_2$	丁酸丙酯	−1.6	+22.1	34.0	47.0	61.5	70.3	82.6	101.0	121.7	142.7
$C_7H_{14}O_3$	乳酸丁酯	87.0	62.5	75.0	88.8	103.8	112.8	125.8	145.0	165.5	187.0
C_7H_{16}	庚烷	−34.0	−12.7	−2.1	+9.5	22.3	30.6	41.8	58.7	78.0	98.4
$C_7H_{16}O$	1-庚醇	42.4	64.3	74.7	85.8	99.8	108.0	119.5	136.6	155.6	175.8
$C_7H_{16}O_2$	1-丁氧基-2-丙醇	24.5	49.0	61.5	74.5	89.5	98.0	110.0	129.0	149.5	170.2
$C_7H_{16}O_3$	1-(2-甲氧丙氧基)-2-丙醇	35.5	61.0	74.0	88.0	103.5	113.0	126.0	145.5	167.0	189.0
C_8H_8	苯乙烯	−7.0	+18.0	30.8	44.6	59.8	69.5	82.0	101.3	122.5	145.2
C_8H_8O	苯乙酮	37.1	64.0	78.0	92.4	109.4	119.8	133.6	154.2	178.0	202.4
C_8H_{10}	乙苯	−9.8	+13.9	25.9	38.6	52.8	61.8	74.1	92.7	113.8	136.2
C_8H_{10}	邻二甲苯	−3.8	+20.2	32.1	45.1	59.5	68.8	81.3	100.2	121.7	144.4
C_8H_{10}	间二甲苯	−6.9	+16.8	28.3	41.1	55.3	64.4	76.8	95.5	116.7	139.1
C_8H_{10}	对二甲苯	−8.1	+15.5	27.3	40.1	54.4	63.5	75.9	94.6	115.9	138.3
$C_8H_{10}O$	1-苯基乙醇	49.0	75.2	88.0	102.1	117.8	127.4	140.3	159.0	180.7	204.0
$C_8H_{10}O_2$	2-苯氧基乙醇	78.0	106.6	121.2	136.0	152.2	163.2	176.5	197.6	221.0	245.3
$C_8H_{16}O$	甲基己基甲酮	23.6	48.4	60.9	74.3	89.8	99.0	111.7	130.4	151.0	172.9
$C_8H_{16}O_2$	丁酸丁酯	13.0	38.5	51.0	65.0	80.0	89.5	102.5	122.0	144.0	166.6
$C_8H_{16}O_3$	1-丁氧基-2-乙酰氧基乙烷	36.5	62.5	76.0	89.5	105.0	114.5	128.0	148.0	169.5	191.5
C_8H_{18}	辛烷	−14.0	+8.3	19.2	31.5	45.1	53.8	65.7	83.6	104.0	125.6
$C_8H_{18}O$	二丁醚	−5.9	+19.3	31.4	45.0	60.0	69.1	82.0	100.0	121.2	142.0
$C_8H_{18}O$	1-辛醇	54.0	76.5	88.3	101.0	115.2	123.8	135.2	152.0	173.8	195.2
$C_8H_{18}O$	2-辛醇	32.8	57.6	70.0	83.3	98.0	107.4	119.8	138.0	157.5	178.5
$C_8H_{18}O_3$	二(2-乙氧基)醚	31.5	57.8	70.8	85.0	100.5	110.0	123.5	144.0	166.0	188.9
$C_8H_{18}O_3$	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	70.0	95.7	107.8	120.5	135.5	146.0	159.8	181.2	205.0	231.2
$C_8H_{18}O_3$	1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	42.0	68.0	81.0	95.0	110.5	120.0	133.0	153.0	175.0	197.0
C_9H_{12}	异丙苯	2.9	26.8	38.3	51.5	66.1	75.4	88.1	107.3	129.2	152.4
$C_9H_{14}O$	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	38.0	66.7	81.2	96.8	114.5	125.6	140.6	163.3	188.7	215.2
$C_9H_{18}O$	二异丁酮	15.0	40.5	53.0	67.0	82.0	92.0	105.0	124.0	147.0	169.3
$C_{10}H_{12}$	十氢化萘	38.0	65.3	79.0	93.8	110.4	121.3	135.3	157.2	181.8	207.2
$C_{10}H_{14}$	对异丙基苯甲烷	19.0	44.6	57.6	71.5	87.6	96.8	110.1	130.1	151.8	176.7
$C_{10}H_{16}$	双戊烯	18.0	44.0	57.0	71.0	87.0	96.5	110.0	130.0	153.2	176.7
$C_{10}H_{16}$	α-蒎烯	−1.0	+24.6	37.3	51.4	66.8	76.8	90.1	110.2	132.3	155.0
$C_{10}H_{18}$	顺十氢化萘	22.5	50.1	64.2	79.8	97.2	108.0	123.2	145.4	169.9	194.6
$C_{10}H_{18}$	反十氢化萘	−0.8	+30.6	47.2	65.3	85.7	98.4	114.6	136.2	160.1	186.7
$C_{10}H_{22}O$	二戊醚	24.5	51.0	64.3	78.8	95.0	104.8	118.5	139.5	163.0	186.8
$C_{10}H_{22}O$	二异戊醚	18.6	44.3	57.0	70.7	86.3	96.0	109.6	129.0	150.3	173.4
$C_{10}H_{22}O_2$	1,2-二丁氧基乙烷	43.2	69.8	83.0	97.3	113.0	122.5	136.0	156.5	178.5	203.6
$C_{10}H_{22}O_3$	1-(2-丁氧丙氧基)-2-丙醇	63.0	91.0	105.0	120.0	136.5	147.0	161.0	182.0	205.0	228.0
$C_{12}H_{26}O$	二己醚	59.0	86.2	100.0	114.5	130.7	141.0	155.0	175.5	198.0	226.2

① mmHg与SI单位的换算因数:1mmHg=133.3224Pa。

表 1-57 溶剂及其共沸混合物的沸点

在一大气压（101.33kPa）下溶剂及其共沸混合物的沸点（按沸点递增顺序排列）；共沸混合物组分，以质量分数表示。

序号	组分	沸点 t/℃
1	甲酸甲酯(40%)+乙醚(8%)+戊烷(52%)	20.4
2	甲酸甲酯(53%)+戊烷(47%)	21.8
3	三氯氟甲烷	23.7
4	二硫化碳(33%)+甲酸甲酯(67%)	24.8
5	1,2-环氧丙烷(57%)+戊烷(43%)	27.5
6	甲酸甲酯(75%)+环戊烷(25%)	28.0
7	甲酸甲酯(56%)+乙醚(44%)	28.2
8	甲酸甲酯(57%)+2-氯丙烷(43%)	29.0
9	甲酸甲酯(66%)+溴乙烷(34%)	29.9
10	甲醇(7%)+戊烷(93%)	30.8
11	2-氯丙烷(57%)+戊烷(43%)	31.0
12	甲酸甲酯	31.5
13	丙酮(21%)+戊烷(79%)	31.9
14	甲醇(6%)+2-氯丙烷(94%)	32.3
15	溴乙烷(<52%)+戊烷(>48%)	<32.8
16	乙醚(68%)+戊烷(32%)	33.4
17	甲酸乙酯(25%)+戊烷(75%)	33.5
18	水(1.2%)+2-氯丙烷(98.8%)	33.6
19	二甲氧基甲烷(35%)+戊烷(65%)	33.6
20	二硫化碳(22%)+2-氯丙烷(78%)	33.7
21	1,2-环氧丙烷	33.9
22	二硫化碳(~40%)+甲醇(~10%)+溴乙烷(~50%)	33.9
23	水(1.3%)+乙醚(98.7%)	34.2
24	甲酸(10%)+戊烷(90%)	34.2
25	乙醇(3%)+2-氯丙烷(97%)	34.2
26	乙醇(4%)+戊烷(96%)	34.2
27	二硫化碳(1%)+乙醚(99%)	34.4
28	乙醚	34.5
29	水(1.4%)+戊烷(98.6%)	34.6
30	1-氯丙烷(<32%)+戊烷(>68%)	<34.6
31	2-氯丙烷	34.8
32	甲酸(1.8%)+2-氯丙烷(98.2%)	34.8
33	甲醇(5.5%)+溴乙烷(94.5%)	35.0
34	2-丙醇(6%)+戊烷(94%)	35.4
35	二氯甲烷(<49%)+戊烷(>51%)	<35.5
36	二硫化碳(55%)+甲醇(7%)+二甲氧基甲烷(38%)	<35.6
37	二硫化碳(11%)+戊烷(89%)	35.7
38	2-甲基丙醇-〔2〕(~3%)+戊烷(~97%)	35.9
39	正戊烷	36.1
40	水(~1%)+溴乙烷(~99%)	37
41	二硫化碳(39%)+二氯甲烷(61%)	37.0
42	二硫化碳+甲醇+乙酸甲酯	37
43	二硫化碳(46%)+二甲氧基甲烷(54%)	37.3
44	溴乙烷(<80%)+环戊烷(>20%)	<37.5
45	溴乙烷(96.5%)+乙醇(3.5%)	37.6
46	二硫化碳(86%)+甲醇(14%)	37.7
47	二硫化碳(33%)+溴乙烷(67%)	37.8
48	二氯甲烷(92.7%)+甲醇(7.3%)	37.8
49	二氯甲烷(70%)+环戊烷(30%)	38.0
50	水(0.8%)+二硫化碳(75.2%)+丙酮(24.0%)	38.0
51	水(1.5%)+二氯甲烷(98.5%)	38.1
52	二氯甲烷(20%)+溴乙烷(80%)	38.1
53	溴乙烷	38.2
54	甲酸(3%)+溴乙烷(97%)	38.2
55	甲醇(14%)+环戊烷(86%)	38.8
56	二硫化碳(67%)+丙酮(33%)	39.3
57	二硫化碳(63%)+甲酸乙酯(37%)	39.4
58	水(0.6%)+甲醇(3.0%)+1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷(96.4%)	39.4
59	二硫化碳(70%)+乙酸甲酯(30%)	39.6
60	二氯甲烷	39.8
61	二氯甲烷(>95%)+乙醇(<5%)	<39.9
62	甲醇(6%)+1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷(94%)	39.9
63	二甲氧基甲烷(62%)+环戊烷(38%)	40.0
64	水(2.5%)+乙醇(6.7%)+1-氯丙烷(90.8%)	40.0
65	二氯甲烷(77%)+1,2-环氧丙烷(23%)	40.6
66	甲醇(10%)+1-氯丙烷(90%)	40.6
67	二氯甲烷(70%)+乙醚(30%)	40.8
68	丙酮(36%)+环戊烷(64%)	41.0
69	水(1.6%)+二硫化碳(93.4%)+乙醇(5%)	41.3
70	甲醇(8.2%)+二甲氧基甲烷(91.8%)	41.9
71	甲酸乙酯(<45%)+环戊烷(>55%)	<42.0
72	水(1.3%)+二甲氧基甲烷(98.7%)	42.1
73	二硫化碳(55.5%)+1-氯丙烷(44.5%)	42.1
74	二甲氧基甲烷	42.3
75	水(2.8%)+二硫化碳(97.2%)	42.6
76	二硫化碳(83%)+甲酸(17%)	42.6
77	二硫化碳(91%)+乙醇(9%)	42.6
78	水(0.6%)+1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷(95.5%)+乙醇(3.9%)	42.6
79	水(1%)+1-氯丙烷(99%)	43.4
80	二硫化碳(90%)+甲酸异丙酯(10%)	43.5
81	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷(96.2%)+乙醇(3.8%)	43.8
82	二硫化碳(67%)+环戊烷(33%)	44.0
83	二硫化碳(92.4%)+2-丙醇(7.6%)	44.2
84	二硫化碳(90%)+硝基甲烷(10%)	44.3
85	水(1.1%)+反1,2-二氯乙烯(94.5%)+乙醇(4.4%)	44.4
86	1-氯丙烷(<64%)+环戊烷(>36%)	<44.5

续表

序号	组　分	沸点 $t/°C$
87	水(1.0%)+1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷(99.0%)	44.5
88	乙醇(7.5%)+环戊烷(92.5%)	44.7
89	二硫化碳(72%)+1,1-二氯乙烷(28%)	44.8
90	二硫化碳(93%)+2-甲基-2-丙醇(7%)	44.8
91	二氯甲烷(41%)+二甲氧基甲烷(59%)	45.0
92	乙醇(6%)+1-氯丙烷(94%)	45.0
93	水(1.9%)+反 1,2-二氯乙烯(98.1%)	45.3
94	二硫化碳(93.5%)+烯丙醇(6.5%)	45.3
95	二硫化碳(94.5%)+1-丙醇(5.5%)	45.7
96	甲酸(8%)+1-氯丙烷(92%)	45.7
97	丙酮(15%)+1-氯丙烷(85%)	45.8
98	二硫化碳+1,1-二甲氧基乙烷	<45.9
99	二硫化碳(84.7%)+甲乙酮(15.3%)	45.9
100	二硫化碳(92.7%)+乙酸乙酯(7.3%)	46.0
101	甲酸(16%)+环戊烷(84%)	46.0
102	二硫化碳(89.5%)+2-溴丙烷(10.5%)	46.1
103	二硫化碳	46.3
104	甲酸乙酯(15%)+1-氯丙烷(85%)	46.3
105	1-氯丙烷(97.2%)+2-丙醇(2.8%)	~46.4
106	1-氯丙烷	46.5
107	反 1,2-二氯乙烯(94%)+乙醇(6%)	46.5
108	甲酸异丙酯(18%)+环戊烷(82%)	<47.0
109	2-丙醇+环戊烷	<47.3
110	硝基甲烷(>9%)+环戊烷(<91%)	<47.5
111	反 1,2-二氯乙烯	47.5
112	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	47.6
113	2-甲基-2-丙醇(~7%)+环戊烷(~93%)	48.2
114	甲醇(14.5%)+α-溴丙烷(85.5%)	49.0
115	甲醇(12%)+1,1-二氯乙烷(88%)	49.1
116	环戊烷	49.3
117	甲酸乙酯(67%)+己烷(33%)	49.5
118	丙酮(53.5%)+己烷(46.5%)	49.7
119	甲醇(28%)+己烷(72%)	50.5
120	甲醇(17.8%)+乙酸甲酯(48.6%)+环己烷(33.6%)	50.8
121	甲醇(16%)+甲酸乙酯(84%)	51.0
122	甲醇(16.0%)+丙酮(43.5%)+环己烷(40.5%)	51.1
123	甲醇(<15%)+顺 1,2-二氯乙烯(>85%)	<51.4
124	丙酮(67%)+环己烷(33%)	53.0
125	甲酸乙酯(70%)+2-溴丙烷(30%)	53.0
126	氯仿(87.5%)+甲醇(12.5%)	53.5
127	甲醇(17.4%)+丙酮(58%)+乙酸甲酯(76.8%)	53.7
128	水(2.9%)+顺-1,2-二氯乙烯(90.5%)+乙醇(6.6%)	53.8
129	甲醇(19%)+乙酸甲酯(81%)	54.0
130	水(3%)+甲酸乙酯(97%)	54.1
131	丙酮(42%)+2-溴丙烷(58%)	54.1
132	甲醇(38.2%)+环己烷(61.8%)	54.2
133	丙酮(61%)+二异丙醚(39%)	54.2
134	甲酸乙酯	54.3
135	甲醇(21%)+1-溴丙烷(79%)	54.6
136	1,1-二氯乙烷(88.5%)+乙醇(11.5%)	54.6
137	水(1%)+甲乙酮(22%)+正乙烷(77%)	55
138	水(3.4%)+顺 1,2-二氯乙烯(96.6%)	55.3
139	乙醇(11.5%)+2-溴丙烷(88.5%)	55.3
140	水(3.5%)+氯仿(92.5%)+乙醇(4.0%)	55.4
141	甲醇(12%)+丙酮(88%)	55.5
142	四氯化碳(79.4%)+甲醇(20.6%)	55.7
143	丙酮(49%)+乙酸甲酯(51%)	55.7
144	丙酮(89.5%)+庚烷(10.5%)	55.9
145	甲醇(21.7%)+1,1,1-三氯乙烷(78.3%)	56
146	乙酸甲酯(68%)+2-溴丙烷(32%)	56.0
147	水(5.8%)+乙醇(11.9%)+己烷(82.3%)	56
148	四氯化碳(11.5%)+丙酮(88.5%)	56.1
149	甲酸(14%)+2-溴丙烷(86%)	56.1
150	丙酮(98%)+1-溴丙烷(2%?)	56.1
151	丙酮	56.2
152	水(2.5%)+氯仿(97.5%)	56.2
153	水(3.3%)+乙酸甲酯(96.7%)	56.4
154	1,1-二氯乙烷(90%)+2-丙醇(10%)	56.5
155	乙酸甲酯(<90%)+己烷(>10%)	<56.7
156	乙酸甲酯	56.9
157	甲酸异丙酯(48%)+己烷(52%)	57.0
158	甲醇(33%)+甲酸异丙酯(67%)	57.2
159	甲醇(28.5%)+1-氯丁烷(71.5%)	57.2
160	1,1-二氯乙烷	57.3
161	甲醇(24.2%)+1,1-二甲氧基乙烷(75.8%)	57.5
162	氯仿(47%)+甲醇(23%)+丙酮(30%)	57.5
163	1,1-二氯乙烷(70%)+丙酮(30%)	57.6
164	顺 1,2-二氯乙烯(90.2%)+乙醇(9.8%)	57.7
165	2-溴丙烷(93.0%)+2-丙醇(7.0%)	57.7
166	水+2-丙醇+己烷	58.2
167	甲醇(39.5%)+苯(60.5%)	58.3
168	氯仿+乙醇+己烷	~58.3
169	乙醇(21%)+己烷(79%)	58.7
170	2-溴丙烷(94.8%)+2-甲基-2-丙醇(5.2%)	59.0
171	甲醇(51.5%)+庚烷(48.5%)	59.1
172	氯仿(8.5%)+甲酸(15%)	59.2
173	2-溴丙烷(98.5%)+己烷(1.5%)	59.3
174	2-溴丙烷	59.4
175	三氯甲烷(93%)+乙醇(7%)	59.4
176	甲醇(57%)+甲基环己烷(43%)	59.5
177	水(5%)+烯丙醇(5%)+己烷(90%)	59.7
178	氯仿(72%)+己烷(28%)	60.0
179	水(4.8%)+乙醇(8.4%)+1-溴丙烷(86.8%)	60.0
180	水+1-丙醇+己烷	60.0

续表

序号	组　　分	沸点 t/℃
181	甲醇(36%)+三氯乙烯(64%)	60.2
182	顺1,2-二氯乙烯	60.4
183	水(4.0%)+三氯甲烷(57.6%)+丙酮(38.4%)	60.4
184	甲酸(28%)+己烷(72%)	60.5
185	甲醇(32%)+1,2-二氯乙烷(68%)	60.9
186	水(3.6%)+1,1-二甲氧基乙烷(96.4%)	61.0
187	水(5.6%)+1-丙醇(2.0%)+二异丙基醚(92.4%)	61
188	水+2-丁醇+己烷	61.1
189	氯仿	61.2
190	水(3.6%)+二异丙醚(96.4%)	61.4
191	水(5.6%)+己烷(94.4%)	61.6
192	水(4.7%)+2-丙醇(7.3%)+二异丙醚(88.0%)	61.6
193	氯仿(92.5%)+二甲氧基甲烷(7.5%)	61.8
194	甲醇(50.2%)+甲酸丙酯(49.8%)	61.9
195	硝基甲烷(21%)+己烷(79%)	62.0
196	甲醇(56%)+氯代异戊烷(44%)	62.0
197	乙醇(12%)+1,1-二甲氧基乙烷(88%)	62.0
198	水(4.5%)+四氯化碳(85.5%)+乙醇(10.0%)	62
199	水(4.8%)+乙醇(23.4%)+环己烷(71.8%)	62.1
200	氯仿(65%)+2-溴丙烷(35%)	62.2
201	甲醇(44%)+乙酸乙酯(56%)	62.3
202	2-丙醇(23%)+己烷(77%)	62.3
203	甲醇(48%)+丙酸甲酯(52%)	62.4
204	甲醇(56%)+丁基乙基醚(44%)	62.6
205	氯仿(87%)+甲酸乙酯(13%)	62.7
206	乙醇(18%)+1-溴丙烷(82%)	62.8
207	甲醇(53%)+1,2-二氯丙烷(47%)	62.9
208	水(5%)+四氢呋喃(95%)	63
209	甲醇(72%)+辛烷(28%)	63.0
210	四氢呋喃(53.5%)+己烷(46.5%)	63
211	甲醇(65%)+二乙氧基甲烷(35%)	63.2
212	甲醇(70%)+丁酮(30%)	63.5
213	甲酸丙酯(30%)+己烷(70%)	63.6
214	水(5%)+丁酮(60%)+环己烷(35%)	63.6
215	甲醇(63.5%)+四氯乙烯(36.5%)	63.8
216	甲醇(69%)+甲苯(31%)	63.8
217	甲醇(70.2%)+乙酸异丙酯(29.8%)	64.0
218	乙醇(17.1%)+二异丙醚(82.9%)	64.0
219	1,1-二甲氧基乙烷(70%)+己烷(30%)	64.0
220	2-甲基-2-丙醇(23%)+己烷(77%)	64.2
221	1,1-二甲氧基乙烷	64.3
222	甲醇(48%)+二溴甲烷(52%)	64.3
223	丁酮(29.5%)+己烷(70%)	64.3
224	水(7.5%)+2-丙醇(18.5%)+环己烷(74.0%)	64.3
225	氯仿(79.5%)+丙酮(20.5%)	64.5
226	硝基甲烷(8%)+甲醇(92%)	64.5
227	甲醇(90.7%)+2-蒎烯(9.3%)	64.5
228	甲醇(>93%)+甲酸异丁酯(<7%)	<64.6
229	甲醇(99.2%)+二戊烯(0.8%)	64.6
230	甲醇	64.7
231	甲酸(27%)+1-溴丙烷(73%)	64.7
232	氯仿(77%)+乙酸甲酯(23%)	4.8
233	水(7.5%)+乙醇(35.5%)+甲基环己烷(57.8%)	64.8
234	乙醇(31.5%)+环己烷(68.5%)	64.9
235	水(7.4%)+乙醇(18.5%)+苯(74.1%)	64.9
236	水(3%)+甲酸异丙酯(97%)	65.0
237	四氯化碳(84.1%)+乙醇(15.9%)	65.1
238	乙酸乙酯(<39%)+己烷(>61%)	65.1
239	烯丙醇(4.5%)+己烷(95.5%)	65.2
240	水(4.1%)+四氯化碳(90.4%)+烯丙醇(5.5%)	65.4
241	水(5.0%)+四氯化碳(84%)+1-丙醇(11%)	65.4
242	1-丙醇(4%)+己烷(96%)	65.7
243	水(3.0%)+四氯化碳(74.8%)+丁酮(22.2%)	65.7
244	四氢呋喃	66
245	水(4.1%)+四氯化碳(95.9%)	66
246	乙醇(21.5%)+1-氯丁烷(78.5%)	66.2
247	2-丙醇(16.3%)+二异丙醚(83.7%)	66.2
248	水(8%)+烯丙醇(11%)+环己烷(81%)	66.2
249	水(7.5%)+2-丙醇(18.7%)+苯(73.8%)	66.5
250	水(8.5%)+1-丙醇(10%)+环己烷(81.5%)	66.6
251	四氯化碳(81.5%)+甲酸(18.5%)	66.7
252	1-溴丙烷(79.5%)+2-丙醇(20.5%)	66.8
253	丙酸甲酯(22%)+己烷(78%)	66.8
254	1-溴丙烷(<43%)+甲酸异丙酯(>57%)	<67.0
255	1-溴丙烷(42%)+己烷(58%)	67.0
256	水(7.0%)+三氯乙烯(79.5%)+乙醇(13.5%)	67
257	水+2-丁醇+环己烷	~67
258	2-丁醇(8.5%)+己烷(91.5%)	67.1
259	氯仿(32%)+1,1-二甲氧基乙烷(68%)	67.2
260	己烷(47%)+二异丙基醚(53%)	67.5
261	2-氯乙醇(<13%)+己烷(>87%)	<68.0
262	四氯化碳(12%)+甲酸异丙酯(88%)	68.0
263	1-溴丙烷(88%)+2-甲基-2-丙醇(12%)	68.0
264	水(9.0%)+1,2-二氯乙烷(74.2%)+乙醇(61.8%)	68
265	水+乙酸+苯	68
266	水(12.1%)+乙醇(25.9%)+庚烷(62.0%)	68
267	水(6.6%)+1-氯丁烷(93.4%)	68.1
268	2-甲基-1-丙醇(2.5%)+己烷(97.5%)	68.1
269	乙醇(32.4%)+苯(67.60%)	68.2

续表

序号	组分	沸点 t/℃
270	水(8.6%)+烯丙醇(9.2%)+苯(82.2%)	68.2
271	甲酸异丙酯	68.3
272	二异丙醚	68.3
273	2-丙醇+乙酸乙酯+环己烷	~68.3
274	乙酸异丙酯(<9%)+己烷(>91%)	<68.5
275	2-甲基-2-丁醇(4%)+己烷(96%)	68.5
276	水(8.6%)+1-丙醇(9.0%)+苯(82.4%)	68.5
277	2-丙醇(33%)+环己烷(67%)	68.6
278	甲酸异丁酯(<7%)+己烷(>93%)	<68.7
279	己烷	68.7
280	苯(5%)+己烷(95%)	68.8
281	水(8.9%)+丁酮(17.5%)+苯(73.6%)	68.9
282	水(9%)+环己烷(91%)	69.0
283	四氯化碳(82%)+2-丙醇(18%)	69.0
284	水+乙醇+乙酸异戊酯	69.0
285	水(8.8%)+苯(91.2%)	69.3
286	烯丙醇(8%)+1-溴丙烷(92%)	69.3
287	甲酸(25%)+1-氯丁烷(75%)	69.4
288	甲酸(33%)+环己烷(67%)	69.5
289	水(7.7%)+1,2-二氯乙烷(73.3%)+2-丙醇(19.0%)	69.7
290	1-溴丙烷(90.5%)+1-丙醇(9.5%)	69.8
291	氯仿(>14%)+甲酸异丙酯(<86%)	70.0
292	水+三氯乙烯+2-丙醇	~70
293	硝基甲烷(28%)+环己烷(72%)	70.2
294	水(9.0%)+乙醇(8.4%)+乙酸乙酯(82.6%)	70.2
295	水(8.2%)+乙酸乙酯(91.8%)	70.4
296	氯仿(36%)+二异丙醚(64%)	70.5
297	1,2-二氯乙烷(>65%)+乙醇(<35%)	70.5
298	硝基甲烷(7%)+1-溴丙烷(93%)	70.6
299	水(13%)+1-丙醇(5%)+甲酸丙酯(82%)	70.8
300	三氯乙烯(73%)+乙醇(27%)	70.9
301	乙醇(49%)+庚烷(51%)	70.9
302	1-溴丙烷	71
303	2-丙醇(23%)+1-氯丁烷(77%)	71.0
304	甲酸(31%)+苯(69%)	71.1
305	四氯化碳(83%)+硝基甲烷(17%)	71.3
306	水(3.9%)+丙酸甲酯(96.1%)	71.4
307	2-甲基-2-丙醇(37%)+环己烷(63%)	71.5
308	水(6.5%)+三氯乙烯(84.7%)+烯丙醇(8.8%)	71.6
309	水(7%)+三氯乙烯(81%)+1-丙醇(12%)	71.6
310	水(9.3%)+乙醇(4.2%)+乙基丁醚(86.5%)	71.6
311	四氯化碳(83%)+2-甲基-2-丙醇(17%)	71.7
312	乙醇(39%)+甲醇正丙酯(61%)	71.8
313	乙醇(30.8%)+乙酸乙酯(69.2%)	71.8
314	丁酮(40%)+环己烷(60%)	71.8
315	水(3.6%)+甲酸丙酯(96.4%)	71.9
316	2-丙醇(33.3%)+苯(66.7%)	71.9
317	水(19.5%)+1,2-二氯乙烷(80.5%)	72
318	乙醇(51.5%)+甲基环己烷(48.5%)	72.0
319	乙醇(36%)+丙酸甲酯(64%)	72.2
320	四氯化碳(88.5%)+烯丙醇(11.5%)	72.3
321	乙醇+1-氯戊烷	72.5
322	水+三氯乙烯+2-甲基-1-丙醇	72.7
323	乙酸乙酯(55%)+环己烷(45%)	72.8
324	1-氯丁烷(80%)+2-甲基-2-丙醇(20%)	72.8
325	四氯化碳(88.5%)+1-丙醇(11.5%)	73.1
326	水(11%)+乙醇(14%)+丁醇(75%)	73.2
327	水(12.1%)+乙醇(18.4%)+二乙氧基甲烷(69.5%)	73.2
328	水(10.4%)+2-丙醇(21.9%)+丁基乙醚(67.7%)	73.4
329	水(11.4%)+丁酮(88.6%)	73.5
330	水(5.4%)+三氯乙烯(94.6%)	73.6
331	四氯化碳(71%)+丁酮(29%)	73.8
332	乙醇(49.3%)+丁基乙醚(50.7%)	73.8
333	1,1,1-三氯乙烷	73.9
334	2-甲基-2-丙醇(36.5%)+苯(63.5%)	73.9
335	水(11.9%)+2-丙醇(9.7%)+丁酮(78.4%)	73.9
336	甲酸丙酯(<48%)+环己烷(>52%)	<74.0
337	水(16.8%)+乙醇(46.0%)+辛烷(37.2%)	74
338	甲酸(25%)+三氯乙烯(75%)	74.1
339	烯丙醇(20%)+环己烷(80%)	74.1
340	乙醇(42%)+二乙氧基甲烷(58%)	74.2
341	1-丙醇(20%)+环己烷(80%)	74.3
342	1,2-二氯乙烷(49.6%)+环己烷(50.4%)	74.4
343	乙醇(44%)+二丙醚(56%)	74.4
344	水(12%)+乙醇(51%)+甲苯(37%)	74.4
345	烯丙醇(15%)+1-氯丁烷(85%)	74.5
346	水(6.7%)+四氯乙烯(55.7%)+乙醇(37.6%)	74.5
347	四氯化碳(~69%)+甲酸丙酯(~33%)	74.6
348	四氯化碳(92.4%)+2-丁醇(7.6%)	74.6
349	乙醇(47.3%)+1,2-二氯丙烷(52.7%)	74.7
350	乙醇(43%)+氯代异戊烷(57%)	74.7
351	四氯化碳(57%)+乙酸乙酯(43%)	74.8
352	水(9.8%)+乙醇(19.4%)+乙酸异丙酯(70.8%)	74.8
353	水(11.7%)+1-丙醇-(20.2%)+二丙醚(68.1%)	74.8
354	1,2-二氯乙烷(>61%)+2-丙醇(<39%)	75.0
355	水+乙醇+氯苯(13%)	75.0
356	水(10%)+二乙氧基甲烷(90%)	75.2
357	丙酸甲酯(50%)+环己烷(50%)	75.2
358	2-丙醇(25%)+乙酸乙酯(75%)	75.3
359	二溴甲烷(60%)+乙醇(40%)	75.5

续表

序号	组　　分	沸点 t/℃	序号	组　　分	沸点 t/℃
360	硝基甲烷(16%)+1-氯丁烷(84%)	75.5	408	1-氯丁烷(92%)+2-丁醇(8%)	77.7
361	三氯乙烯(70%)+2-丙醇(30%)	75.5	409	苯(51.8%)+环己烷(48.2%)	77.7
362	水(11%)+2-丙醇(13%)+乙酸异丙酯(76%)	75.5	410	水(11.4%)+乙醇(27.6%)+1,1-二乙氧基乙烷(61.0%)	77.8
363	四氯化碳(79%)+1,2-二氯乙烷(21%)	75.6	411	2-丙醇(32%)+丁酮(68%)	77.9
364	1-丙醇(16%)+1-氯丁烷(84%)	75.6	412	1-氯丁烷(>64%)+环己烷(<36%)	<78.0
365	乙醇(46%)+丁酮(54%)	75.7	413	乙酸(3%)+1-氯丁烷(97%)	78.0
366	四氯化碳(94.5%)+2-甲基-1-丙醇(5.5%)	75.8	414	乙醇(72%)+丙酸乙酯(28%)	78.0
367	2-丙醇(36%)+甲酸丙酯(64%)	75.9	415	乙醇(84%)+丁酸甲酯(16%)	78.0
368	乙酸乙酯(60%)+1-氯丁烷(40%)	75.9	416	乙醇(76%)+1,1-二乙氧基乙烷(24%)	78.0
369	水(10.5%)+1,2-二甲氧基乙烷(89.5%)	76	417	1-氯丁烷(96%)+2-甲基-1-丙醇(4%)	78.0
370	四氯化碳(>80%)+丙酸甲酯(<20%)	76.0	418	2-甲基-2-丙醇(65%)+甲基环己烷(35%)	78.0
371	硝基甲烷(26.8%)+乙醇(73.2%)	76.0	419	2-甲基-2-丙醇(63%)+庚烷(37%)	78.0
372	乙酸乙酯(73%)+2-甲基-2-丙醇(27%)	76.0	420	水(6%)+硝基甲烷(32%)+2-丙醇(62%)	78
373	水(10%)+二丙醚(90%)	76.1	421	水(4.4%)+乙醇(21.7%)+乙苯(73.9%)	78
374	甲酸丙酯(38%)+1-氯丁烷(62%)	76.1	422	乙醇(90.7%)+二噁烷(9.3%)	78.1
375	乙醇(76%)+辛烷(24%)	76.3	423	水(4.4%)+乙醇(95.6%)	78.2
376	水(13.1%)+2-丙醇(38.2%)+甲苯(48.7%)	76.3	424	甲酸(43.5%)+庚烷(56.5%)	78.2
			425	乙醇(83%)+乙酸丙酯(17%)	78.2
377	2-丙醇(35%)+丙酸甲酯(65%)	76.4	426	甲酸丙酯(71%)+庚烷(29%)	78.2
378	2-丙醇(50.5%)+庚烷(49.5%)	76.4	427	2-甲基-1-丙醇(14%)+环己烷(86%)	78.2
379	1,2-二氯乙烷(<78%)+2-甲基-2-丙醇	<76.5	428	乙酸异丙酯(25%)+环己烷(75%)	78.2
380	水(9%)+乙酸异丙酯(91%)	76.5	429	2-丙醇(54%)+二丙醚(46%)	78.3
381	乙醇(53%)+乙酸异丙酯(47%)	76.5	430	丁酮(44%)+苯(56%)	78.3
382	2-丁醇(18%)+环己烷(82%)	76.5	431	乙醇	78.4
383	水(12.1%)+乙基丁醚(87.9%)	76.6	432	1-氯丁烷	78.4
384	四氯化碳(97%)+乙酸(3%)	76.6	433	2-氯乙醇(10%)+环己烷(90%)	78.5
385	四氯化碳(97.5%)+1-丁醇(2.5%)	76.6	434	甲基丙酯(46%)+苯(54%)	78.5
386	四氯化碳(95.5%)+2-甲基-2-丁醇(4.5%)	76.6	435	2-丁醇(17%)+苯(83%)	78.6
387	四氯乙烯(35%)+乙醇(65%)	76.7	436	甲乙酮(69%)+2-甲基-2-丙醇(31%)	78.7
388	乙醇(72%)+甲酸异丁酯(28%)	76.7	437	2-甲基-2-丁醇(16%)+环己烷(84%)	78.8
389	乙醇(68%)+甲苯(32%)	76.7	438	2-丙醇(44%)+氯代异戊烷(56%)	79.0
390	四氯化碳	76.8	439	丁酮(60%)+丙酸甲酯(40%)	79.0
391	乙酸乙酯	76.8	440	水(12.9%)+庚烷(87.1%)	79.2
392	烯丙醇(17.3%)+苯(82.7%)	76.8	441	硝基甲烷(14%)+苯(86%)	79.2
393	乙酸乙酯(<94%)+庚烷(>6%)	<76.9	442	2-甲基-2-丙醇(52%)+二丙醚(48%)	79.2
394	三氯乙烯(68%)+2-甲基-2-丙醇(32%)	77.0	443	水(5.0%)+1,2-二氯乙烷(28.6%)+苯(66.4%)	79.2
395	丁酮(~18%)+乙酸乙酯(~82%)	77.0			
396	丁酮(38%)+1-氯丁烷(62%)	77.0	444	硝基甲烷(31%)−2-丙醇(69%)	79.4
397	丁酮(73%)+庚烷(27%)	77	445	硝基甲烷(32%)+二甲基-2-丙醇(68%)	79.4
398	1-丙醇(16.9%)+苯(83.1%)	77.1	446	丁酮	79.5
399	甲酸(<20%)+1,2-二氯乙烷(>80%)	77.2	447	丙酸甲酯(51%)+苯(49%)	79.5
400	2-丙醇(47.5%)+甲基环己烷(52.5%)	77.4	448	甲酸异丁酯(<19%)+环己烷(>81%)	79.5
401	水(12%)+1,2-二氯丙烷(88%)	77.5	449	丙酸甲酯(<92%)+庚烷(>8%)	<79.6
402	丙酸甲酯(35%)+1-氯丁烷(65%)	77.5	450	2-丙醇(52%)+二乙氧基甲烷(48%)	79.6
403	甲酸丙酯(60%)+2-甲基-2-丙醇(40%)	77.5	451	乙酸(3%)+环己烷(97%)	79.7
404	丙酸甲酯(64%)+2-甲基-2-丙醇(36%)	77.6	452	2-甲氧基乙醇(8%)+环己烷(92%)	<79.8
405	乙醇(9.12%)+甲基丙基甲酮(8.8%)	77.7	453	2-甲基-1-丙醇(9.3%)+苯(90.7%)	79.8
406	丁酮(80%)+甲基环己烷(20%)	77.7	454	1-丁醇(4%)+环己烷(96%)	79.8
407	1-氯丁烷(98.1%)+1-丁醇(1.9%)	77.7	455	甲基丙基甲酮(5%)+环己烷(95%)	79.8

续表

序号	组分	沸点 t/℃
456	水(11.8%)+2-甲基-2-丙醇(88.2%)	79.9
457	1,2-二氯乙烷(82%)+烯丙醇(18%)	79.9
458	乙酸(1.7%)+苯(98.3%)	80.0
459	水+吡啶(5%)+甲基环己烷	80.0
460	苯	80.1
461	甲酸(32%)+氯代异戊烷(68%)	80.1
462	二乙氧基甲烷(17%)+环己烷(83%)	81.1
463	水+1-丙醇+甲苯	80.1
464	甲酸丙酯(<88%)+甲基环己烷(>12%)	<80.2
465	硝基甲烷(37%)+庚烷(63%)	80.2
466	水+烯丙醇+甲苯	80.2
467	水(17.3%)+2-甲基-1-丙醇(6.7%)+甲酸异丁酯(76.0%)	80.2
468	水(12.1%)+2-丙醇(87.9%)	80.4
469	水(8.2%)+甲酸异丁酯(91.8%)	80.4
470	1,2-二氯丙烷(16%)+环己烷(84%)	80.4
471	1,2-二氯乙烷(82%)+1-丙醇(18%)	80.5
472	丙酸甲酯	80.6
473	2-丙醇(69%)+甲苯(31%)	80.6
474	环己烷	80.7
475	三氯乙烯+甲酸丙酯	80.7
476	烯丙醇(<5%)+甲酸丙酯(>95%)	<80.8
477	1-丙醇(3%)+甲酸丙酯(97%)	80.8
478	二溴甲烷(>32%)+2-丙醇(<68%)	<81.0
479	水(13.2%)+丙酸乙酯(86.8%)	81.0
480	水+甲基环己烷	81.0
481	甲酸(46%)+甲基环己烷(54%)	81.0
482	三氯乙烯(84%)+烯丙醇(16%)	81.0
483	1,2-二氯乙烷(75.8%)+庚烷(24.2%)	81
484	2-丙醇(57%)+乙酸异丙酯(43%)	81
485	2-甲基-2-丙醇(>59%)+氯代异戊烷(<41%)	<81.2
486	甲酸丙酯	81.2
487	水(~20%)+1-丙醇(~20%)+二乙基酮	~81.2
488	硝基甲烷(39.5%)+甲基环己烷(60.5%)	81.3
489	硝基甲烷(20%)+三氯乙烯(80%)	81.4
490	2-丙醇(84%)+辛烷(16%)	81.6
491	四氯乙烯(28%)+2-丙醇(72%)	81.7
492	三氯乙烯(83%)+1-丙醇(17%)	81.8
493	水(32.1%)+1-氯戊烷(67.9%)	82
494	水+2-甲基-2-丁醇+甲苯	~82
495	1,2-二氯乙烷(88%)+2-丁醇(12%)	<82.2
496	水(13.2%)+乙酸丙酯(86.8%)	82.2
497	水(21.0%)+1-丙醇(19.5%)+乙酸丙酯(59.5%)	82.2
498	2-丙醇(<90%)+甲酸异丁酯(>10%)	<82.3
499	水(17.5%)+硝基甲烷(55.9%)+1-丙醇(26.6%)	82.3
500	2-丙醇	82.4
501	2-甲基-2-丙醇	82.4
502	水(18%)+硝基甲烷(17%?)+二乙基酮(65%)	82.4
503	水(14.5%)+1,1-二乙氧基乙烷(85.5%)	82.5
504	三氯乙烯(18%)+1,2-二氯乙烷(82%)	82.6
505	水(14%)+丁酸甲酯(86%)	82.7
506	水(14%)+二乙基酮(86%)	82.9
507	水(13.5%)+甲基丙基酮(86.5%)	83.0
508	水+二甲基-1-丙醇+甲苯	83
509	1,2-二氯乙烷(93.5%)+2-甲基-1-丙醇(6.5%)	83.2
510	1,2-二氯乙烷	83.5
511	水(23.6%)+硝基甲烷(76.4%)	83.6
512	水(21.3%)+1-丁醇(10.0%)+甲酸丁酯(68.7%)	83.6
513	水(16.5%)+甲酸丁酯(83.5%)	83.8
514	1,2-二氯乙烷(~90%)+甲酸丙酯(~10%)	83.8
515	水(19.6%)+甲苯(80.4%)	84.1
516	三氯乙烯(85%)+2-丁醇(15%)	84.2
517	烯丙醇(~37%)+庚烷(~63%)	84.4
518	1-丙醇(38%)+庚烷(62%)	84.8
519	1,2-二甲氧基乙烷	85.2
520	三氯乙烯(91%)+2-甲基-1-丙醇(9%)	85.4
521	水(20.2%)+2-丁醇(27.4%)+乙酸叔丁酯(52.4%)	85.5
522	2-氯-2-甲基丁烷	85.6
523	烯丙醇(30%)+二丙基醚(70%)	85.7
524	1-丙醇(29%)+二丙基醚(71%)	85.7
525	甲酸(50%)+甲苯(50%)	85.8
526	烯丙醇(42%)+甲基环己烷(58%)	85.8
527	水(16.4%)+1,1,2-三氯乙烷(83.6%)	86.0
528	1-丙醇(41.5%)+甲基环己烷(58.5%)	86.0
529	三氯乙烯(96.2%)+乙酸(3.8%)	86.5
530	乙酸异丙酯(66%)+庚烷(34%)	86.5
531	水(19.4%)+乙酸叔丁酯(80.6%)	86.6
532	三氯乙烯(97.5%)+2-氯乙醇(2.5%)	86.6
533	三氯乙烯(92.5%)+2-甲基-2-丁醇(7.5%)	86.6
534	水(24.7%)+2-丁醇(56.1%)+二丁基醚(19.2%)	86.6
535	三氯乙烯(97%)+1-丁醇(3%)	86.7
536	1-丙醇(14%)+二乙氧基甲烷(86%)	86.7
537	水(30.4%)+2-甲基-1-丙醇(23.1%)+乙酸异丁酯(46.5%)	86.8
538	三氯乙烯	86.9
539	烯丙醇(>11%)+二乙氧基甲烷(<89%)	<87.0
540	水(26.4%)+硝基乙烷(73.6%)	87.1
541	水(27.5%)+2-甲基-2-丁醇(72.5%)	87.4
542	水(16.5%)+乙酸异丁酯(83.5%)	87.4
543	水(18.1%)+二噁烷(81.9%)	87.5
544	乙酸异丙酯(78%)+甲基环己烷(22%)	87.5
545	乙酸异丙酯(<42%)+二乙氧基甲烷(>58%)	<87.6

续表

序号	组　　分	沸点 t/℃
546	水(28.3%)+1-丙醇(7.17%)	87.7
547	水(29.9%)+2-丁醇(70.1%)	87.8
548	二乙氧基甲烷(96%)+庚烷(4%)	87.8
549	水(24.3%)+甲基异丁基甲酮(75.7%)	87.9
550	二乙氧基甲烷	88.0
551	水(25%)+3-氯-1,2-环氧丙烷(75%)	88
552	2-丁醇(22%)+二丙醚(78%)	88.0
553	水+四氯乙烯+1-丙醇	88
554	水(25%)+丁酸乙酯(75%)	88.2
555	甲酸(50%)+四氯乙烯(50%)	88.2
556	硝基甲烷(48%)+氯代异戊烷(52%)	88.2
557	烯丙醇(29%)+氯代异戊烷(71%)	88.3
558	水(26.9%)+2-硝基丙烷(73.1%)	88.4
559	2-丁醇(38%)+庚烷(62%)	88.4
560	乙酸异丙酯(50%)+二丙基醚(50%)	88.5
561	2-甲基-2-丁醇(17%)+二丙基醚(83%)	88.8
562	乙酸异丙酯	88.9
563	水(27.7%)+烯丙醇(72.3%)	88.9
564	1,2-二氯乙烷(22%)+二乙氧基甲烷(78%)	89.0
565	1-丙醇(29%)+氯代异戊烷(71%)	89.0
566	水+乙酸+乙酸丁酯	89
567	水+二甲基-1-丙醇+二丁基醚	89
568	硝基乙烷(28%)+庚烷(72%)	89.2
569	硝基甲烷+乙酸异丙酯	<89.3
570	水(27%)+丙酸丙酯(73%)	89.3
571	硝基甲烷(43%)+烯丙醇(57%)	89.3
572	硝基甲烷(44%)+1-丙醇(56%)	89.3
573	三氯乙烯(53%)+二乙氧基甲烷(47%)	89.3
574	水(25%)+1,2-二乙氧基乙烷(75%)	89.4
575	水(37.3%)+1-丁醇(27.4%)+乙酸丁酯(35.3%)	89.4
576	2-甲基-1-丙醇(~10%)+二丙基醚(~90%)	89.5
577	水+2-甲基-1-丙醇+乙苯	~89.5
578	水(25.5%)+辛烷(74.5%)	89.6
579	水(22.3%)+甲酸异戊酯(77.7%)	89.7
580	水(32.4%)+3-甲基-1-丁醇(19.6%)+甲酸异戊酯(48.0%)	89.9
581	水(33.2%)+2-甲基-1-丙醇(66.8%)	89.9
582	水(25.4%)+2-甲氧基乙醇(7.4%)+乙苯(67.2%)	90
583	二丙基醚	90.1
584	水(28.4%)+氯苯(71.6%)	90.2
585	水(28%)+乙酸丁酯(72%)	90.2
586	二溴甲烷(>74%)+1-丙醇(<26%)	<90.5
587	甲酸异丁酯(<50%)+庚烷(>50%)	<90.5
588	水(~30%)+甲基丁基甲酮(~70%)	90.5
589	甲酸(55%)+辛烷(~70%)	90.5
590	水(28.2%)+1-丁醇(35.4%)+二丁基醚(15.7%)	90.6
591	水(27.3%)+乙酸丁酯(57.0%)+二丁基醚(15.7%)	90.6
592	硝基己烷(30%)+甲基环己烷(70%)	90.8
593	2-丁醇(42%)+甲基环己烷(58%)	90.8
594	水(30%)+碳酸二乙酯(70%)	~91
595	硝基甲烷(46%)+2-丁醇(54%)	91.1
596	2-甲基-1-丙醇(26%)+庚烷(74%)	91.1
597	水(35.5%)+1-硝基丙烷(64.5%)	91.2
598	水(37.5%)+1-戊醇(21.5%)+甲酸戊酯(41.0%)	91.4
599	1-丙醇(43%)+甲酸异丁酯(57%)	91.5
600	2-丁醇(29%)+氯代异戊烷(71%)	91.5
601	水(28.4%)+甲酸戊酯(71.6%)	91.6
602	烯丙醇(>40%)+甲醇异丁酯(<60%)	<91.7
603	水(36%)+3-戊醇(64%)	91.7
604	水(34.8%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(65.2%)	91.8
605	二噁烷(44%)+庚烷(36%)	91.9
606	丁基乙基醚	92.0
607	水(33.3%)+乙苯(66.7%)	92
608	水(35.8%)+间二甲苯(64.2%)	92
609	硝基甲烷(53%)+辛烷(47%)	92.0
610	2-甲基-2-丁醇(28%)+庚烷(72%)	92.2
611	乙酸(32%)+庚烷(68%)	92.3
612	烯丙醇(52%)+甲苯(48%)	92.3
613	水(38%)+1-丁醇(62%)	92.4
614	1-丙醇(52.5%)+甲苯(47.5%)	92.4
615	水(38.5%)+2-戊醇(61.5%)	92.5
616	2-甲氧基乙醇(23%)+庚烷(77%)	92.5
617	甲酸异丁酯(55%)+甲基环己烷(45%)	92.5
618	水(43%)+吡啶(57%)	92.6
619	2-氯乙醇(23%)+庚烷(77%)	92.7
620	3-氯-2-甲基丁烷	93
621	水+苯乙烯	93
622	二乙基酮(35%)+庚烷(65%)	93.0
623	丙酸乙酯(47%)+庚烷(53%)	93.0
624	硝基甲烷(49.5%)+2-甲基-2-丁醇(50.5%)	93.1
625	四氯乙烯(55%)+烯丙醇(45%)	93.2
626	2-甲基-1-丙醇(30%)+甲基环己烷(70%)	93.2
627	甲基丙基酮(34%)+庚烷(66%)	93.2
628	烯丙醇(68%)+辛烷(32%)	93.4
629	1-丙醇(46%)+丙酸乙酯(54%)	93.4
630	烯丙醇(>43%)+丙酸乙酯(<57%)	<93.5
631	水(48%)+2-甲基吡啶(52%)	93.5
632	水(38%)+二丁醚(62%)	93.5
633	二噁烷(>45%)+甲基环己烷(<55%)	93.5
634	2-甲基-2-丁醇(~35%)+甲基环己烷(~65%)	93.5
635	乙酸丙酯(40%)+庚烷(60%)	93.6
636	水(44.8%)+3-甲基-1-丁醇(31.2%)+乙酸异戊酯(24.0%)	93.6

续表

序号	组　分	沸点 t/℃	序号	组　分	沸点 t/℃
637	甲酸(59%)+氯苯(41%)	93.7	685	水(35.1%)+五氯代乙烷(64.9%)	95.8
638	1-丙醇(68%)+辛烷(32%)	93.9	686	甲酸(73%)+苯乙烯(27%)	95.8
639	甲酸丁酯(<35%)+庚烷(765%)	<94.0	687	2-氯乙醇(25%)+甲基环己烷	95.8
640	水+二丙基酮	94	688	3-氯-1,2-环氧丙烷(22%)+烯丙醇(78%)	95.8
641	甲酸(68%)+乙苯(32%)	94.0	689	2-丁醇(45%)+丙酸乙酯(55%)	95.8
642	1-丁醇(17.8%)+庚烷(82.20%)	94.0	690	氯代异戊烷(73.5%)+2-甲基-2-丁醇(26.5%)	95.9
643	水(35.9%)+乙酸异戊酯(64.1%)	94.1	691	水+1-戊醇+二戊基醚	95.9
644	水(36.4%)+丁酸丙酯(63.4%)	94.1	692	水(50.9%)+2-氯-1-丙醇(49.1%)	96
645	四氯乙烯(51.5%)+1-丙醇(48.5%)	94.1	693	水(~48.5%)+1-甲氧基-2-丙醇(~51.5%)	96
646	甲酸(70%)+间二甲苯(30%)	94.2	694	水(53.7%)+1-戊醇(46.3%)	96.0
647	水+3-甲基-1-丁醇+二异戊醚	94.4	695	硝基甲烷(35%)+丙酸乙酯(65%)	96.0
648	甲酸(68%)+对二甲苯(32%)	94.5	696	乙酸(20%)+氯代异戊烷(80%)	96.0
649	硝基甲烷(32%)+甲酸异丁酯(68%)	94.5	697	3-氯-1,2-环氧丙烷(23%)+1-丙醇(77%)	96.0
650	1-丙醇(51%)+丁酸甲酯(49%)	94.5	698	烯丙醇(70%)+甲基丙基酮(30%)	96.0
651	2-甲基-1-丙醇(20%)+氯代异戊烷(80%)	94.5	699	烯丙醇(72%)+二乙基甲酮(28%)	96.0
652	水(42.2%)+乙基丁基甲酮(57.8%)	94.6	700	1-丙醇(68%)+甲基丙基酮(32%)	96.0
653	硝基甲烷(56.5%)+2-甲基-1-丙醇(43.5%)	94.6	701	1-丙醇(63%)+二乙基甲酮(37%)	96.0
654	烯丙醇(52%)+乙酸丙酯(48%)	94.6	702	甲酸丁酯(35%)+甲基环己烷(65%)	96.0
655	烯丙醇(>51%)+丁酸甲酯(<49%)	<94.7	703	2-戊醇(15%)+庚烷(85%)	96.0
656	甲酸(51.5%)+1,2-二溴乙烷(48.5%)	94.7	704	3-戊醇(20%)+庚烷(80%)	96.0
657	1-丙醇(50%)+乙酸丙酯(50%)	94.7	705	1,2-二氯丙烷	96.2
658	2-丁醇(40%)+甲酸异丁酯(60%)	94.7	706	二溴甲烷(<75%)+甲基环己烷(>25%)	<96.4
659	水(41%)+丙酸丁酯(59%)	94.8	707	1-丁醇(21%)+甲基环己烷(79%)	96.4
660	二溴甲烷(84%)+乙酸(16%)	94.8	708	硝基甲烷(55%)+甲苯(45%)	96.5
661	二溴甲烷(82%)+2-甲基-1-丙醇(18%)	94.8	709	烯丙醇(82.5%)+氯苯(17.5%)	96.5
662	2-甲氧基乙醇(25%)+甲基环己烷(75%)	94.8	710	1-氯-2-丙醇(17%)+庚烷(83%)	96.5
663	丙酸乙酯(53%)+甲基环己烷(47%)	94.8	711	2-乙氧基乙醇(14%)+庚烷(86%)	96.5
664	水(56.2%)+1-戊醇(33.3%)+乙酸戊酯(10.5%)	94.8	712	氯代异戊烷(48%)+庚烷(52%)	96.5
665	硝基乙烷(>23%)+1-丙醇(<77%)	<95.0	713	1,2-二溴乙烷+烯丙醇	<96.7
666	水(61.6%)+环己酮(38.4%)	95	714	烯丙醇(74%)+1-丙醇(26%)	96.7
667	水+4-氯甲苯	95	715	烯丙醇	96.9
668	水(48%)+甲基戊基甲酮(52%)	95	716	2-氯戊烷	96.9
669	水(43.8%)+异丙苯(56.2%)	95	717	1-丙醇(82%)+氯苯(18%)	96.9
670	硝基甲烷(80%?)+四氯乙烯(20%?)	95.0	718	吡啶(<14%)+庚烷(>86%)	<97.0
671	二乙基酮(40%)+甲基环己烷(60%)	95.0	719	甲酸异丁酯(<81%)+2-甲基-2-丁醇(>19%)	<97.0
672	水(49.5%)+3-甲基-1-丁醇(50.5%)	95.1	720	二溴甲烷	97.0
673	丁酸甲酯(35%)+庚烷(65%)	95.1	721	水(51.5%)+1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(48.5%)	97.0
674	水(41%)+乙酸戊酯(59%)	95.2	722	水(51.9%)+二异丁基甲酮(48.1%)	97.0
675	乙酸(32%)+甲基环己烷(68%)	95.2	723	四氯乙烯(43%)+2-丁醇(57%)	97.0
676	甲基丙基酮(40%)+甲基环己烷(60%)	95.2	724	1,2-二溴乙烷(9%)—1-丙醇(91%)	97.0
677	1-丙醇(55%)+二噁烷(45%)	95.3	725	1-丙醇+对二甲苯	97.0
678	水(45.8%)+1-氯-2-丙醇(54.2%)	95.4	726	1-丁醇(12%)+氯代异戊烷(88%)	97.0
679	二溴甲烷(>58%)+庚烷(<42%)	<95.5	727	丁酸甲酯(42%)+甲基环己烷(58%)	97.0
680	1-丙醇(64%)+甲酸丁酯(36%)	95.5	728	甲酸(45.5%)+硝基甲烷(54.5%)	97.1
681	2-丁醇(55%)+甲苯(45%)	95.5	729	1-丙醇(94%)+间二甲苯(6%)	97.1
682	甲酸异丁酯(55%)+氯代异戊烷(45%)	95.5	730	1-丙醇	97.2
683	乙酸丙酯(47.5%)+甲基环己烷(52.5%)	95.5			
684	甲酸(74%)+邻二甲苯(26%)	95.7			

续表

序号	组　分	沸点 t/°C
731	水(54%)+丁酸丁酯(46%)	97.2
733	水(56%)+二异戊基醚(44%)	97.3
734	2-丁醇(53%)+乙酸丙酯(47.0%)	97.3
735	水(55%)+1-2 氧基-2-乙酰氧基乙烷(45%)	97.4
736	硝基甲烷(68%)+3-戊醇(32%)	97.4
737	二噁烷(36%)+氯代异戊烷(64%)	97.5
738	甲基异丁基甲酮(13%)+庚烷(87%)	97.5
739	水(10.6%)+甲酸(40.4%)+间二甲苯(49.0%)	97.5
740	硝基甲烷(45%)+乙酸丙酯(55%)	97.6
741	2-甲基-1-丙醇(13%)+甲酸异丁酯(87%)	97.6
742	2-丁醇(<59%)+丁酸甲酯(>41%)	<97.7
743	水(65.6%)+二(2-氯乙基)醚(34.4%)	97.7
744	水(73%)+1-己醇(27%)	97.7
745	3-氯戊烷	97.8
746	水(56.5%)+2-氯乙醇(43.5%)	97.8
747	硝基甲烷(70%)+1-丁醇(30%)	97.8
748	2-氯乙醇(14%)+氯代异戊烷(86%)	97.8
749	3-戊醇(22%)+甲基环己烷(78%)	97.8
750	1,1-二乙氧基乙烷(28%)+庚烷(72%)	97.8
751	3-甲基-1-丁醇(<8%)+庚烷(>92%)	<97.9
752	水(90.8%)+糠醛(9.2%)	97.9
753	水(79%)+环己醇(21%)	97.9
754	硝基甲烷(50%)+丁酸甲酯(50%)	97.9
755	乙醇胺+庚烷	<98.0
756	丙酸乙酯(>50%)+氯代异戊烷(<50%)	<98.0
757	乙二醇(3%)+庚烷(97%)	98.0
758	3-氯-1,2-环氧丙烷(25%)+2-丁醇(75%)	98.0
759	2-丁醇(58%)+二乙基甲酮(42%)	98.0
760	2-丁醇(68%)+甲酸丁酯(32%)	98.0
761	丙酸乙酯(70%)+2-甲基-2-丁醇(30%)	98.0
762	氯代异戊烷(64%)+甲基环己烷(36%)	98.0
763	3-氯-1,2-环氧丙烷(>4%)+庚烷(<96%)	<98.1
764	甲酸(68%)+溴苯(32%)	98.1
765	乙酸异丁酯(<13%)庚烷(>87%)	<98.2
766	甲酸异丁酯	98.4
767	庚烷	98.4
768	水(82%)+2-甲基环己醇(18%)	98.4
769	水(65%)+二戊醚(35%)	98.4
770	甲基环己烷(5%)+庚烷(95%)	98.4
771	水(~84%)+苯胺(~16%)	~98.5
772	水(62.6%)+二(2-氯异丙)醚(37.4%)	98.5
773	甲酸(72%)+2-氯甲苯(28%)	98.5
774	硝基甲烷(73%)2-戊醇(27%)	98.5
775	二乙基甲酮(25%)+氯代异戊烷(75%)	98.5
776	乙酸丙酯(32%)+氯代异戊烷(68%)	98.5
777	硝基乙烷(>30%)+2-甲基-2-丁醇(<70%)	<98.6
778	水(~86%)+硝基苯(~14%)	98.6
779	2-戊醇(18%)+甲基环己烷(82%)	98.6
780	硝基甲烷(<60%)+甲酸丁酯(>40%)	98.7
781	水(83%)+1-庚醇(17%)	98.7
782	水(<81%)+2-辛醇(>19%)	98.7
783	二噁烷(<60%)+2-丁醇(>40%)	<98.8
784	4-氯-2-甲基丁烷	98.8
785	水(72%)+2-丙氧基乙醇(28%)	98.8
786	水(87.3%)+4-羟基-4-甲基-2-戊酮(12.7%)	98.8
787	2-乙氧基乙醇(13%)+甲基环己烷(87%)	98.8
788	2-甲基-1-丙醇(13%)+丙酸乙酯(87%)	<98.9
789	水(76.8%)+1,3-二氯-2-丙醇(23.2%)	99
790	水(80%)+乳酸甲酯(20%)	99
791	丙酸乙酯	99.1
792	水(82.2%)+丙酸(17.8%)	99.1
793	水(76%)+2-丁氧基乙醇(24%)	99.1
794	水(81.5%)+苯乙酮(8.5%)	99.1
795	水(76.8%)+1,2-二丁氧基乙烷(23.2%)	99.1
796	甲酸(73%)+4-氯甲苯(27%)	99.1
797	硝基甲烷(55%)+二乙基甲酮(45%)	99.1
798	水(76%)+2-乙氧基-2-乙酰氧基醚(24%)	99.2
799	硝基甲烷(56%)+甲基丙基甲酮(44%)	99.2
800	水(70%)+2-乙氧基乙醇(30%)	99.3
801	甲酸(68%)+1,1,2,2-四氯乙烷(32%)	99.3
802	水(81.6%)+丁酸(18.4%)	99.4
803	水(86.8%)+二(2-氯乙氧基)甲烷(13.2%)	99.4
804	水(90%)+1-辛醇(10%)	99.4
805	水(69%)+二(2-乙氧基乙基醚)(31%)	99.4
806	2-甲基-2-丁醇(52%)+甲苯(48%)	99.4
807	2-丁醇	99.5
808	水(83.9%)+3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮(16.1%)	99.5
809	水(84.6%)+1,2-二乙酰氧基乙烷(15.4%)	99.7
810	1,1-二乙氧基乙烷(40%)+甲基环己烷(60%)	99.7
811	水(81.5%)+2-甲氧基乙醇(18.5%)	99.8
812	水(92%)+2-丁氧基-2′-乙酸基二乙基醚(8%)	99.8
813	水(94.7%)+二(2-丁氧基)醚(8%)	99.8
814	乙酸丙酯(58%)+2-甲基-2-丁醇(42%)	99.8
815	丁酸甲酯(53%)+2-甲基-2-丁醇(47%)	99.8
816	水(~91%)+苯甲醇(~9%)	99.9
817	硝基甲烷	100.0
818	1-氯-2-甲基丁烷	100
819	甲基异丁基甲酮(<20%)+甲基环己烷(>80%)	<100.1
820	硝基甲烷(>85%)+吡啶(<15%)	<100.5
821	乙醇胺(<10%)+甲基环己烷(>90%)	<100.5
822	二噁烷(<94%)+辛烷(>6%)	<100.5

续表

序号	组　分	沸点 t/℃
823	3-甲基-1-丁醇+甲基环已烷(92%)	100.5
824	硝基甲烷(56.5%)+二噁烷(43.5%)	100.6
825	硝基甲烷(88%)+3-甲基-1-丁醇(12%)	100.6
826	乙二醇(4%)+甲基环已烷(96%)	100.6
827	甲酸	100.7
828	二噁烷(80%)+2-甲基-2-丁醇(20%)	100.7
829	二乙基甲酮(60%)+2-甲基-2-丁醇(40%)	110.7
830	3-氯-1,2-环氧丙烷(>5%)+甲基环已烷(<95%)	<100.8
831	二噁烷+乙酸丙酯	<110.8
832	甲基丙基甲酮(35%)+乙酸丙酯(65%)	100.8
833	二乙基甲酮(40%)+乙酸丙酯(60%)	100.8
834	二噁烷+丁酸甲酯	<100.9
835	甲基环已烷	100.9
836	甲基丙基甲酮(56%)+2-甲基-2-丁醇(42%)	100.9
837	1-戊醇+甲基环已烷	<101.9
838	2-甲基-1-丙醇(19%)+乙酸丙酯(81%)	101.0
839	甲酸正丁酯(35%)+2-甲基-2-丁醇(65%)	101.0
840	2-甲基-1-丙醇(45%)+甲苯(55%)	101.1
841	2-甲基-2-丁醇(75%)+辛烷(25%)	101.1
842	硝基甲烷(96%)+乙酸(4%)	101.2
843	二噁烷	101.3
844	2-甲基-1-丙醇(25%)+丁酸甲酯(75%)	101.3
845	乙酸丙酯(~68%)+1,1-二乙氧基乙烷(~32%)	101.3
846	四氯乙烯(27%)+2-甲基-2-丁醇(73%)	101.4
847	乙酸丙酯	101.6
848	二乙基甲酮	101.7
849	2-甲基-1-丙醇(20%)+二乙基甲酮(80%)	101.7
850	二乙基甲酮(55%)+丁酸甲酯(45%)	101.7
851	二乙基甲酮(>75%)+1,1-二乙氧基乙烷(<25%)	101.8
852	2-甲基-1-丙醇(19%)+甲基丙基甲酮(81%)	101.8
853	甲基丙基甲酮(50%)+丁酸甲酯(50%)	101.9
854	甲基丙基甲酮	102.0
855	丁酸甲酯(~55%)+1,1-二乙氧基乙烷(~45%)	102.0
856	丁酸甲酯	102.3
857	2-甲基-2-丁醇	102.4
858	硝基乙烷(40%)+2-甲基-1-丙醇(60%)	102.5
859	2-甲基-1-丙醇(65%)+辛烷(35%)	102.5
860	2-甲基-1-丙醇(40%)+甲酸丁酯(60%)	103.0
861	四氯乙烯(60%)+2-甲基-1-丙醇(40%)	103.1
862	1,1-二乙氧基乙烷	103.6
863	1,1,2-三氯乙烷(>62%)+2-甲基-1-丙醇(<38%)	<103.8
864	乙酸(34%)+甲苯(66%)	105.0
865	3-氯-1,2-环氧丙烷(39.5%)+2-甲基-1-丙醇(60.5%)	105.0
866	甲酸(33%)+二乙基甲酮(67%)	105.3
867	甲酸(32%)+甲基丙基甲酮(68%)	105.5
868	乙酸(52.5%)+辛烷(47.5%)	105.5
869	1-丁醇(27%)+甲苯(73%)	105.7
870	1,1,2-三氯乙烷(70%)+乙酸(30%)	106.0
871	1-丁醇(<15%)+甲酸丁酯(>85%)	106.0
872	2-甲氧基乙醇(25.5%)+甲苯(74.5%)	106.1
873	硝基乙烷(>27%)+甲苯(<73%)	106.2
874	甲酸丁酯(>70%)+甲苯(<30%)	<106.4
875	甲酸丁酯(<98.5%)+3-戊醇(>1.5%)	<106.5
876	1-甲氧基-2-丙醇(30%)+甲苯(70%)	106.5
877	3-戊醇(33%)+甲苯(67%)	106.5
878	甲酸丁酯	106.6
879	1,2-二溴乙烷(37%)+2-甲基-1-丙醇(63%)	106.8
880	2-氯乙醇(25%)+甲苯(75%)	106.9
881	2-戊醇(28%)+甲苯(72%)	107.0
882	2-甲基-1-丙醇(63%)+氯苯(37%)	107.2
883	水(22.7%)+甲酸(77.3%)	107.4
884	四氯乙烯(62%)+乙酸(38%)	107.4
885	2-甲基-1-丙醇(>79%)+乙苯(<21%)	107.5
886	2-甲基-1-丙醇(83%)+对二甲苯(17%)	107.6
887	硝基乙烷(55%)+1-丁醇(45%)	107.7
888	二甲基-1-丙醇(78%)+乙酸异丁酯(22%)	107.8
889	2-甲基-1-丙醇(85.5%)+间二甲苯(14.5%)	107.8
890	1-氯戊烷	107.9
891	2-甲基-1-丙醇(91%)+甲基异丁基甲酮(9%)	107.9?
892	2-甲基-1-丙醇(>99%)+α-蒎烯(<1%)	<108.0
893	2-甲基-1-丙醇	108.0
894	1,2-丙二醇+甲苯	108
895	3-氯-1,2-环氧丙烷(29%)+甲苯(71%)	108.4
896	四氯乙烯(71%)+1-丁醇(29%)	109.0
897	1-氯-2-丙醇(15%)+甲苯(85%)	109.0
898	四氯乙烯(75.5%)+2-甲氧基乙醇(24.5%)	109.8
899	四氯乙烯(76%)+2-氯乙醇(24%)	110.0
900	二硝基丙烷+甲苯	110
901	2-甲氧基乙醇(48%)+辛烷(52%)	110.0
902	四氯乙烯(48.5%)+3-氯-1,2-环氧丙烷(51.5%)	110.1
903	3-甲基-1-丁醇(13%)+甲苯(87%)	110.1
904	乙二醇(6.5%)+甲苯(93.5%)	110.2
905	1-丁醇(50%)+辛烷(50%)	110.2
906	2-乙氧基乙醇(10.8%)+甲苯(89.2%)	110.2
907	吡啶(22%)+甲苯(78%)	110.2
908	丙酸(3%)+甲苯(97%)	110.5
909	乳酸甲酯+甲苯	<110.6
910	甲苯	110.6
911	甲基异丁基甲酮(3%)+甲苯(97%)	110.7

续表

序号	组分	沸点 t/℃
912	3-氯-1,2-环氧丙烷(54%)+3-戊醇(46%)	111.5
913	四氯乙烯(57%)+1,1,2-三氯乙烷(43%)	112
914	硝基乙烷(78%)+3-甲基-1-丁醇(22%)	112.0
915	3-氯-1,2-环氧丙烷(57%)+1-丁醇(43%)	112.0
916	乙酸仲丁酯	112.2
917	乙酸(30%)+硝基乙烷(70%)	112.4
918	2-氯乙醇(47%)+辛烷(53%)	112.5
919	硝基乙烷(60%)+乙酸异丁酯(40%)	112.5
920	吡啶(<90%)+辛烷(>10%)	<112.8
921	四氯乙烯(51.5%)+吡啶(48.5%)	112.9
922	硝基乙烷+甲基异丁基甲酮	<113.0
923	四氯乙烯(72%)+1-氯-2-丙醇	113.0
924	3-氯-1,2-环氧丙烷(60%)+2-戊醇(40%)	113.0
925	四氯乙烯(66%)+2-戊醇(34%)	113.2
926	甲酸(43%)+二噁烷(57%)	113.4
927	甲基异丁基甲酮(65%)+辛烷(35%)	113.4
928	硝基乙烷(>73%)+丁酸乙酯(<27%)	<113.7
929	1,1,2-三氯乙烷	113.7
930	硝基乙烷(>83%)+1-戊醇(<19%)	<113.8
931	四氯乙烯(48%)+甲基异丁基甲酮(52%)	113.9
932	硝基乙烷	114.0
933	2-甲氧基乙醇(25%)+甲基异丁基甲酮(75%)	114.2
934	1-丁醇(45%)+乙酸异丁酯(55%)	114.2
935	1,2-二溴乙烷(45%)+乙酸(55%)	114.3
936	1-丁醇(30%)+甲基异丁基甲酮(70%)	114.4
937	3-氯-1,2-环氧丙烷(80%)+辛烷(20%)	114.5
938	吡啶+乙酸异丁酯	114.5
939	乙酸(58.5%)+氯苯(41.5%)	114.6
940	乙酸(66%)+乙苯(34%)	114.7
941	3-氯-1,2-环氧丙烷(55%)+乙酸异丁酯(45%)	114.7
942	乙酸异丁酯(<70%)+辛烷(>30%)	114.7
943	2-戊醇(<56%)+辛烷(>44%)	<114.8
944	吡啶(60%)+甲基异丁基甲酮(40%)	114.9
945	3-戊醇(>35%)+甲基异丁基甲酮(<65%)	<115.0
946	四氯乙烯(87%)+2-氯-1-丙醇(13%)	115.0
947	乙酸(71%)+对二甲苯(29%)	115.0
948	甲基异丁基甲酮	115.1
949	乙酸(34.5%)+3-氯-1,2-环氧丙烷(65.5%)	115.1
950	乙酸(72.5%)+间-二甲苯(27.5%)	115.4
951	3-氯-1,2-环氧丙烷(81%)+3-甲基-1-丁醇(19%)	115.4
952	1-丁醇(54%)+氯苯(46%)	115.4
953	3-氯-1,2-环氧丙烷(>32%)+甲基异丁基甲酮(<68%)	<115.5
954	吡啶	115.5
955	1-丁醇(68%)+乙苯(32%)	115.5
956	2-甲氧基乙醇(16%)+乙酸异丁酯(84%)	115.6
957	甲基异丁基甲酮+乙酸异丁酯	115.6
958	3-氯-1,2-环氧丙烷(75%)+丁酸乙酯(25%)	115.7
959	1-丁醇(58%)+丁酸乙酯(42%)	115.9
960	四氯乙烯(83.5%)+2-乙氧基乙醇(16.5%)	116.0
961	乙酸(70%)+1,2-二溴丙烷(30%)	116.0
962	1-丁醇(67%)+甲酸异戊烷(33%)	116.0
963	2-乙氧基乙醇(38%)+辛烷(62%)	116.0
964	3-氯-1,2-环氧丙烷	116.1
965	3-戊醇	116.1
966	四氯乙烯(28%)+乙酸异丁酯(72%)	116.1
967	3-氯-1,2-环氧丙烷(<95%)+1-戊醇(>5%)	<116.2
968	3-氯-1,2-环氧丙烷+氯苯	<116.2
969	四氯乙烯(81%)+3-甲基-1-丁醇(19%)	116.2
970	乙酸(80%)+苯乙烯(20%)	116.2
971	乙酸(78%)+邻二甲苯(22%)	116.2
972	3-氯-1,2-环氧丙烷(~95%)+甲基异戊酯(~5%)	116.2
973	1-丁醇(71%)+对二甲苯(29%)	116.2
974	3-氯-1,2-环氧丙烷(>78%)+丙酸丙酯(<12%)	<116.3
975	1-丁醇(63%)+碳酸二乙酯(37%)	116.5
976	1-丁醇(81.8%)+甲基丁基甲酮(18.2%)	116.5
977	1-丁醇+丙酸丙酯	116.5
978	1-丁醇(71.5%)+间二甲苯(28.5%)	116.5
979	2-戊醇(32%)+乙酸异丁酯(68%)	116.5
980	乙酸+异丙苯	116.8
981	四氯乙烯(85%)+1-戊醇(15%)	117.0
982	乙酸(90%)+α-蒎烯(10%)	117.0
983	2-甲氧基乙醇(51.2%)+乙苯(48.8%)	117
984	1,2-二溴丙烷(39%)+1-丁醇(61%)	<117.1
985	乙酸异丁酯	117.1
986	1-丁醇(77%)+邻二甲苯(23%)	117.1
987	1-丁醇(80%)+乙基丙基甲酮(20%)	117.2
988	1-丁醇(68.5%)+乙酸丁酯(31.5%)	117.2
989	1-丁醇(80%)+苯乙烯(20%)	117.2
990	1-丁醇(82.5%)+二丁基醚(17.5%)	117.4
991	1-丁醇(~88%)+α-蒎烯(~12%)	117.4
992	吡啶(45%)+3-戊醇(55%)	117.4
993	1-丁醇(67.4%)+乙酸丁酯(13.9%)+二丁基醚(18.7%)	117.5
994	乙酸	117.7
995	2-甲氧基乙醇(32%)+丁酸乙酯(68%)	117.8
996	1-丁醇	117.9
997	乙酸(95%)+溴苯(5%)	118.0
998	2-戊醇(67%)+乙苯(33%)	118.0
999	2-戊醇(>55%)+氯苯(>45%)	<118.2
1000	四氯乙烯(55%)+乙基丙基甲酮(45%)	118.2
1001	四氯乙烯(65%)+甲酸异戊酯(35%)	118.2

续表

序号	组　分	沸点 t/℃
1002	2-戊醇(70%)+间二甲苯(30%)	118.3
1003	2-戊醇(>47%)+丁酸乙酯(<53%)	<118.5
1004	丁酸乙酯(<65%)+辛烷(>35%)	<118.5
1005	2-甲氧基乙醇(38%)+丙酸丙酯(62%)	118.5
1006	1-丁醇(71%)+吡啶(29%)	118.7
1007	甲酸异戊酯(<57%)+辛烷(>43%)	<118.8
1008	丙酸丙酯(<59%)+辛烷(>41%)	<118.8
1009	四氯乙烯(74%)+碳酸二乙酯(26%)	118.8
1010	1,2-二溴乙烷(<47%)+2-戊醇(>53%)	<119.0
1011	四氯乙烯(94%)+乙二醇(6%)	119.1
1012	四氯乙烯(91.5%)+丙酸(8.5%)	119.1
1013	2-甲氧基乙醇(40%)+甲酸异戊酯(60%)	119.1
1014	四氯乙烯(57%)+丁酸乙酯(43%)	119.3
1015	2-甲氧基乙醇(~57%)+对二甲苯(~43%)	119.3
1016	2-甲氧基乙醇(<43%)+乙基丙基甲酮(>57%)	<119.5
1017	乙酸(77%)+二噁烷(23%)	119.5
1018	2-甲氧基乙醇(47.5%)+氯苯(52.5%)	119.5
1019	2-甲氧基乙醇(48%)+乙酸丁酯(52%)	119.5
1020	2-甲氧基乙醇(56%)+间二甲苯(42%)	119.5
1021	2-甲氧基乙醇(<7%)+2-戊醇(>93%)	<119.7
1022	四氯乙烯(83.5%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(16.5%)	119.8
1023	四氯乙烯(65%)+丙酸丙酯(35%)	119.8
1024	3-甲基-1-丁醇(35%)+辛烷(65%)	119.8
1025	2-戊醇	119.9
1026	四氯乙烯(90%)+乳酸甲酯(10%)	120.0
1027	2-氯乙醇(42%)+氯苯(58%)	120.0
1028	四氯乙烯(79%)+乙酸丁酯(21%)	120.1
1029	2-甲氧基乙醇(66%)+α-蒎烯(34%)	120.2
1030	2-硝基丙烷	120.3
1031	乳酸甲酯(30%)+辛烷(70%)	120.3
1032	四氯乙烯(<92%)+辛烷(>8%)	<120.5
1033	乙酸丁酯(<49%)+辛烷(>51%)	<120.5
1034	1-甲氧基-2-丙醇	120.6
1035	四氯乙烯(95%)+2-丙氧基乙醇(5%)	120.6
1036	1,2-二溴乙烷(63.5%)+2-甲氧基乙醇(36.5%)	120.6
1037	四氯乙烯(98.8%)+丁酸(1.2%)	121.0
1038	四氯乙烯(96%)+1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(4%)	121.0
1039	2-氯乙醇(55%)+乙苯(45%)	121.0
1040	2-甲氧基乙醇(62%)+苯乙烯(38%)	121.0
1041	2-甲氧基乙醇(63%)+邻-二甲苯(37%)	121.0
1042	2-乙氧基乙醇(3.1%)+1,2-二乙氧基乙烷(96.9%)	121.0
1043	2-甲基-2-戊烯-4-酮(35%)+辛烷(65%)	121.0
1044	1,2-二乙氧基乙烷	121.1
1045	四氯乙烯	121.2
1046	丁酸乙酯	121.4
1047	2-甲氧基乙醇(<56%)+甲基丁基酮(>44%)	<121.5
1048	2-氯乙醇(54%)+对二甲苯(46%)	121.5
1049	丙酸(<30%)+辛烷(>70%)	121.5
1050	2-氯乙醇(54.5%)+间二甲苯(45.5%)	121.9
1051	2-甲氧基乙醇(68%)+二丁基醚(32%)	122.0
1052	1-氯-2-丙醇(55%)+氯苯(45%)	122.2
1053	1,2-二溴乙烷(66.5%)+2-氯乙醇(33.5%)	122.3
1054	2-甲氧基乙醇(73.5%)+异丙苯(26.5%)	122.4
1055	2-甲氧基乙醇(60%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(40%)	122.5
1056	乙基正丙基甲酮(40%)+丙酸丙酯(60%)	122.5
1057	2-氯乙醇+丙酸丙酯	122.7
1058	2-丙氧基乙醇(20%)+辛烷(80%)	122.8
1059	乙醇胺(<16%)+辛烷(>84%)	<123.0
1060	2-氯乙醇(56.8%)+二丁基醚(43.2%)	123.0
1061	1-氯-2-丙醇(~30%)+甲酸异戊酯(~70%)	123.0
1062	乙基丙基甲酮(50%)+甲酸异戊酯(50%)	123.0
1063	乙基丙基甲酮+乙酸丁酯	123.1
1064	2-氯乙醇(21%?)+甲酸异戊酯(79%?)	123.2
1065	2-氯乙醇(60%)+苯乙烯(40%)	123.2
1066	丙酸丙酯	123.4
1067	乙二醇(11.8%)+辛烷(88.5%)	123.5
1068	2-氯乙醇(60%)+邻二甲苯(40%)	123.6
1069	2-氯-1-丙醇(>5%)+甲酸异戊酯(<95%)	<123.7
1070	1,2-二溴乙烷(~8%)+甲酸异戊酯(~92%)	123.7
1071	3-甲基-1-丁醇(18%)+甲酸异戊酯(82%)	123.7
1072	1.2-二溴丙烷+2-甲氧基乙醇	<124.0
1073	甲酸异戊酯	124.2
1074	1,2-二溴乙烷(69.5%)+3-甲基-1-丁醇(30.5%)	124.2
1075	3-甲基-1-丁醇(34%)+氯苯(66%)	124.4
1076	丁酸(<15%)+辛烷(>85%)	<124.5
1077	1-氯-2-丙醇(75%)+间二甲苯(25%)	124.5
1078	2-甲氧基乙醇	124.6
1079	1,2-二溴乙烷(>38%)+1-氯-2-丙醇(<62%)	<124.8
1080	乙基丙基甲酮	125
1081	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(<11%)+辛烷(>89%)	<125.2
1082	碳酸二乙酯(73.5%)+3-甲基-1-丁醇(26.5%)	125.3
1083	2-氯乙醇(70%)+异丙苯(30%)	125.4
1084	甲基丁基甲酮(32%)+乙酸丁酯(68%)	125.4
1085	碳酸二乙酯(<96%)+1-戊醇(>4%)	<125.5
1086	1-氯-1-丙醇(~25%)+乙酸丁酯(~75%)	125.5
1087	1-氯-2-丙醇(85%)+邻二甲苯(15%)	125.5
1088	乙苯(<12%)+辛烷(>88%)	<125.6
1089	乙酸丁酯	125.6

续表

序号	组　　分	沸点 t/℃
1090	2-氯乙醇(31%)+乙酸丁酯(69%)	125.6
1091	2-氯乙醇(>28%)+碳酸二乙酯(<72%)	<125.7
1092	辛烷	125.7
1093	碳酸二乙酯(65%)+甲基丁基甲酮(35%)	125.7
1094	碳酸二乙酯	125.8
1095	2-乙氧基乙醇(35.7%)+乙酸丁酯(64.3%)	125.8
1096	3-甲基-1-丁醇(17.5%)+乙酸丁酯(82.5%)	125.9
1097	乙酸丁酯(95%)+二丁基醚(5%)	125.9
1098	2-氯乙醇+1,2-二溴丙烷	126.0
1099	2-氯-1-丙醇(36%)+氯苯(64%)	126.0
1100	1-戊醇(25%)+氯苯(75%)	126.2
1101	3-甲基-1-丁醇(48%)+乙苯(52%)	126.3
1102	碳酸二乙酯(94%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(6%)	126.5
1103	3-甲基-1-丁醇(5%)+对二甲苯(48%)	127.0
1104	3-甲基-1-丁醇(53%)+间二甲苯(47%)	127.1
1105	甲基丁基甲酮	127.2
1106	2-乙氧基乙醇(32%)+氯苯(68%)	127.2
1107	1,2-二溴乙烷(<78%)+1-戊醇(>22%)	<127.3
1108	1-氯-2-丙醇(>81%)+3-甲基-1-丁醇(<19%)	<127.3
1109	1-氯-2-丙醇	127.5
1110	2-氯乙醇(68%)+溴苯(32%)	127.5
1111	1,2-二溴甲烷+丙酸+氯苯	127.5
1112	1,2-二溴乙烷(77%)+2-乙氧基乙醇(23%)	127.8
1113	2-乙氧基乙醇(48%)+乙苯(52%)	127.8
1114	2-氯乙醇(75%)+3-甲基-1-丁醇(25%)	127.9
1115	1,2-二溴乙烷(82.5%)+丙酸(17.5%)	128.0
1116	1,2-二溴乙烷(67%)+2-氯-1-丙醇(33%)	128.0
1117	2-氯乙醇(85%)+2-氯甲苯(15%)	128.0
1118	1,1,2,2-四氯烷(31%)+2-氯乙醇(69%)	128.2
1119	2-氯乙醇(86.3%)+二(2-氯乙基)醚(13.7%)	128.2
1120	1,2-二溴丙烷(>52%)+3-甲基-1-丁醇(<48%)	<128.5
1121	乙醇胺(13.5%)+氯苯(86.5%)	128.6
1122	2-乙氧基乙醇(50%)+对二甲苯(50%)	128.6
1123	3-甲基-1-丁醇(59%)+邻二甲苯(41%)	128.6
1124	2-氯乙醇	128.7
1125	丙酸(18%)+氯苯(82%)	128.7
1126	2-甲基-1-丁醇	128.8
1127	3-甲基-1-丁醇(63%)+苯乙烯(37%)	<128.9
1128	2-乙氧基乙醇(18%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮	128.9
1129	2-乙氧基乙醇(51%)+间二甲苯(49%)	128.9
1130	2-氯乙醇(75%)+甲基丁基甲酮(25%)	129.0
1131	2-氯-1-丙醇(53%)+间二甲苯(47%)	129.0
1132	乳酸甲酯(38%)+乙苯(62%)	129.0
1133	3-甲基-1-丁醇(24%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(76%)	129.2
1134	2-甲基吡啶	129.4
1135	乙酰丙酮(>35%)+3-甲基-1-丁醇(>65%)	<129.5
1136	2-甲基-2-戊烯-4-酮	129.8
1137	乙二醇(5.6%)+氯苯(94.4%)	129.8
1138	1-戊醇(40%)+乙苯(60%)	129.8
1139	3-甲基-1-丁醇(70%)+二丁基醚(30%)	129.8
1140	1,2-二溴乙烷(82%)+乳酸甲酯(18%)	130.0
1141	2-氯乙醇(69%)+2-甲氧基乙醇(31%)	130.0
1142	2-乙氧基乙醇(55%)+苯乙烯(45%)	130.0
1143	1,2-二溴乙烷(59%)+氯苯(41%)	130.1
1144	2-氯乙醇(～33%)+2-甲基-2-戊烯-4-酮(～67%)	130.2
1145	乳酸甲酯(42%)+对二甲苯(58%)	130.2
1146	2-乙氧基乙醇(55%)+二丁基醚(45%)	130.2
1147	2-氯-1-丙醇(70%)+邻二甲苯(30%)	130.5
1148	2-氯-1-丙醇(70%)+二丁基醚(30%)	130.5
1149	3-甲基-1-丁醇(77%)+α-蒎烯(23%)	130.7
1150	乳酸甲酯+氯苯	<130.8
1151	2-乙氧基乙醇(55%)+邻二甲苯(45%)	130.8
1152	1,2-二溴乙烷(96.5%)+乙二醇(3.5%)	130.9
1153	2-乙氧基乙醇(57%)+α-蒎烯(43%)	<131.0
1154	乙醇胺(15%)+乙苯(85%)	131.0
1155	1,2-二溴乙烷(96.5%)+丁酸(3.5%)	131.1
1156	丙酸(28%)+乙苯(72%)	131.1
1157	乳酸甲酯(42.5%)+间二甲苯(57.5%)	131.2
1158	1-戊醇(42%)+对二甲苯(58%)	131.3
1159	1,2-二溴乙烷	131.4
1160	1-硝基丙烷	131.4
1161	1,2-二溴乙烷(90%)+乙苯(10%)	131.4
1162	1,2-二溴丙烷(～50%)+2-乙氧基乙醇(～50%)	131.5
1163	丁酸(2.8%)+氯苯(97.2%)	131.5
1164	3-甲基-1-丁醇(94%)+异丙苯(6%)	131.6
1165	氯苯	131.7
1166	3-甲基-1-丁醇(85%)+溴苯(15%)	131.7
1167	3-甲基-1-丁醇	132
1168	甲酸戊酯	132.1
1169	1-乙氧基-2-丙醇	132.2
1170	丙酸(34%)+对二甲苯(66%)	132.5
1171	3-甲基-1-丁醇+2-甲基吡啶	>132.5
1172	丙酸(35%)+间二甲苯(64.5%)	132.7
1173	乙醇胺(18%)+间二甲苯(82%)	133.0
1174	乙二醇(13.5%)+乙苯(86.5%)	133.2
1175	2-乙氧基乙醇(67%)+异丙苯(33%)	133.2
1176	乳酸甲酯(50%)+邻二甲苯(50%)	133.5
1177	2-乙氧基乙醇(70%)+乙酸异戊酯(30%)	133.8
1178	3-氯-1-丙醇	134
1179	乳酸甲酯(52%)+苯乙烯(48%)	134.0
1180	2-乙氧基乙醇(72%)+丁酸丙酯(29%)	134.0

续表

序号	组　分	沸点 t/℃	序号	组　分	沸点 t/℃
1181	1,2-二溴丙烷(67%)+丙酸(33%)	134.5	1225	乙二醇(6%)+1,2-二溴丙烷(94%)	139.0
1182	1-戊醇(50%)+二丁基醚(50%)	134.5	1226	丙酸(65%)+异丙苯(35%)	139.0
1183	2-丙氧基乙醇(18%)+乙苯(82%)	134.5	1227	二丙基甲酮(10%)+间二甲苯(90%)	139.0
1184	乙酰基丙酮(<40%)+乙苯(>60%)	<135.0	1228	1-己醇(<15%)+间二甲苯(>85%)	<139.1
1185	2-乙氧基乙醇	135.1	1229	间二甲苯	139.1
1186	乙二醇(14.5%)+对二甲苯(85.5%)	135.2	1230	环己醇(5%)+间二甲苯	139.1
1187	2-乙氧基乙醇(86%)+溴苯(14%)	135.2	1231	1,2,3-三氯丙烷(35%)+丙酸(65%)	139.5
1188	丙酸(43%)+邻二甲苯(57%)	135.4	1232	乙酸(35%)+吡啶(65%)	139.7
1189	丙酸(45%)+苯乙烯(55%)	135.5	1233	乙二醇(16%)+邻二甲苯(84%)	140.0
1190	乳酸甲酯(63%)+α-蒎烯(37%)	135.5	1234	1,2-二溴丙烷(>91%)+乙酸异戊酯(<9%)	<140.2
1191	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(15%)+乙苯(85%)	135.5	1235	1,2-二溴丙烷(>78%)+邻二甲苯(22%)	<140.2
1192	2-氯乙醇(15%)+2-乙氧基乙醇(85%)	135.7	1236	乙二醇(12%)+二丁基醚(88%)	140.2
1193	乙二醇(15%)+间二甲苯(85%)	135.8	1237	丙酸(62.5%)+溴苯(37.5%)	140.2
1194	丁酸(4%)+乙苯(96%)	135.8	1238	丙酸(68%)+2-氯甲苯(32%)	140.2
1195	1,2-二溴丙烷(>86%?)+乙苯(<92%?)	136.0	1239	乳酸乙酯(30%)+邻二甲苯(70%)	140.2
1196	丙酸(45%)+二丁基醚(55%)	136.0	1240	2-丙氧基乙醇(35%)+邻二甲苯(65%)	140.3
1197	1,2-丙二醇+二丁基醚	136.0	1241	1,2-二溴丙烷	140.5
1198	乙苯	136.2	1242	乳酸甲酯(60%)+丙酸丁酯(40%)	140.5
1199	丙酸(58.5%)+α-蒎烯(41.5%)	136.3	1243	乳酸乙酯(33%)+苯乙烯(67%)	140.5
1200	2-丙氧基乙醇(24%)+对二甲苯(76%)	136.3	1244	2-丙氧基乙醇(37%)+苯乙烯(63%)	140.5
1201	乙醇胺(16%)+二丁基醚(84%)	136.5	1245	1,1,2,2-四氯乙烷(50%)+丙酸(50%)	140.7
1202	乳酸乙酯(17%)+对二甲苯(83%)	136.6	1246	丙酸	140.8
1203	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷+1-戊醇	<137.0	1247	丙酸(77%)+4-氯甲苯(23%)	140.8
1204	乙酰丙酮	137.0	1248	乙酸异戊酯(<55%)+二丁基醚(>45%)	<141.2
1205	乳酸甲酯(42%)+二丁基醚(58%)	137.0	1249	乙二醇(17%)+苯乙烯(83%)	141.2
1206	2-丙氧基乙醇(25.5%)+间二甲苯(74.5%)	137.0	1250	乳酸乙酯+二丁基醚	<141.5
			1251	乳酸甲酯(22%)+溴苯(78%)	141.5
1207	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(26%)+对二甲苯(80.5%)	137.2	1252	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(20%)+乙酸异戊酯(80%)	141.5
1208	乳酸乙酯(19.5%)+间二甲苯(80.5%)	137.4	1253	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(50%)+邻二甲苯(50%)	141.5
1209	1-戊醇	137.5			
1210	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(28%)+间二甲苯(72%)	137.7	1254	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(88%)+二丁基醚(12%)	141.7
1211	丁酸(5.5%)+对二甲苯(94.5%)	137.8	1255	二丙基甲酮(25%)+乙酸异戊酯(75%)	141.7
1212	乳酸甲酯(62%)+异丙苯(38%)	137.8	1256	丁酸丙酯(<45%)+二丁基醚(>55%)	<142.0
1213	乙醇胺(20%)+邻二甲苯(80%)	<138.0	1257	邻二甲苯(<22%)+二丁基醚(>78%)	<142.0
1214	乳酸甲酯+1-戊醇	<138.0	1258	二丁基醚	142.0
1215	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(30%)+二丁基醚(70%)	138.0	1259	乙二醇(2%)+乙酸异戊酯(98%)	142.0
			1260	乙醇胺(25%)+α-蒎烯(75%)	142.0
1216	1,2-二溴丙烷(>25%)+对二甲苯(<75%)	<138.3	1261	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(80%)+α-蒎烯(20%)	142.0
1217	对二甲苯	138.4	1262	2-丙氧基乙醇(48%)+α-蒎烯(52%)	142.0
1218	糠醛(>11%)+二丁基醚(<89%)	<138.5	1263	二丙基酮(80%)+α-蒎烯(20%)	142.0
1219	1,2-二溴丙烷(92%)+丁酸(8%)	138.5	1264	二丙基酮(42%)+邻二甲苯(58%)	142.4
1220	丁酸(6%)+间二甲苯(94%)	138.5	1265	2-异丙氧基乙醇	142.5
1221	乳酸甲酯(44%)+乙酸异戊酯(56%)	138.5	1266	乙酸异戊酯	142.5
1222	乳酸甲酯(45%)+丁酸丙酯(55%)	138.5	1267	乙醇胺+异丙苯	142.5
1223	2-丙氧基乙醇(37%)+二丁基醚(63%)	138.5	1268	乳酸甲酯(47%)+二丙基甲酮(53%)	142.7
1224	1,2-二溴丙烷(>32%)+间二甲苯(<68%)	<138.8	1269	丁酸(10%)+邻二甲苯(90%)	143.0

续表

序号	组分	沸点 t/℃
1270	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(61%)+苯乙烯(39%)	143.0
1271	二丙基甲酮(47%)+丁酸丙酯(53%)	143.0
1272	乳酸乙酯(49.8%)+α-蒎烯(50.2%)	143.1
1273	1-己醇(20%)+邻二甲苯(80%)	143.1
1274	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(<68%)+丁酸丙酯(<32%)	<143.2
1275	乳酸甲酯(55%)+1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(45%)	143.2
1276	环己醇(13%)+邻二甲苯(87%)	143.3
1277	丁酸丙酯(<88%)+α-蒎烯(>12%)	<143.4
1278	糠醛(~38%)+α-蒎烯(~62%)	143.4
1279	丁酸丙酯(<68%)+苯乙烯(>32%)	<143.5
1280	丁酸丙酯(<65%)+邻二甲苯(>35%)	<143.5
1281	丁酸(15%)+苯乙烯(85%)	143.5
1282	乙二醇(3%)+丁酸丙酯(97%)	143.6
1283	二丙基甲酮	143.7
1284	丁酸丙酯	143.8
1285	2,6-二甲基吡啶	144.0
1286	1-己醇(23%)+苯乙烯(77%)	~144
1287	糠醛(<8%)+邻二甲苯(>92%)	<144.1
1288	3-甲基吡啶	144.1
1289	1-甲氧基-2-乙酰氧乙烷(94%)+异丙苯(6%)	144.3
1290	邻二甲苯	144.4
1291	环己醇(16%)+苯乙烯(84%)	144.4
1292	1-甲氧基-2-乙酰氧乙烷(<92%)+乙酸戊酯(>8%)	<144.5
1293	乳酸乙酯(46%)+异丙苯(54%)	144.5
1294	1,1,2,2-四氯乙烷(92.5%)+乙二醇(7.5%)	144.9
1295	糠醛+苯乙烯	<145.0
1296	2-正丙氧基乙醇(~20%)+丙酸丁酯(~80%)	<145.0
1297	乳酸甲酯	145
1298	乙酸(49%)+2-甲基吡啶(51%)	145
1299	乙醇胺(~22%)+溴苯(~78%)	145.0
1300	1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷	145.1
1301	苯乙烯	145.2
1302	4-甲基吡啶	145.4
1303	丙酸丁酯(<46%)+苯乙烯(>54%)	<145.5
1304	丙酸丁酯(<82%)+α-蒎烯(>18%)	<145.6
1305	1,1,2,2-四氯乙烷(96.2%)+丁酸(3.8%)	145.6
1306	乙二醇(<7%)+丙酸丁酯(>93%)	<146.0
1307	1,2-二溴丙烷(40%)+二丁基醚(60%)	146.0
1308	1,1,2,2-四氯乙烷	146.1
1309	乙醇胺(26%)+2-氯甲苯(74%)	146.5
1310	乙酸戊酯(>62%)+α-蒎烯(<38%)	<146.8
1311	丙酸丁酯	146.8
1312	丙酸(36%)+1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(64%)	146.9
1313	乙二醇(18%)+异丙苯(82%)	147.0
1314	2-丙氧基乙醇(50%)+异丙苯(50%)	147.0
1315	乙基丁基甲酮	147.4
1316	乙二醇(6%)+丙酸戊酯(94%)	147.6
1317	1,1,2,2-四氯乙烷(70%)+二丁基醚(30%)	148.0
1318	2-丙氧基乙醇(~48%)+溴苯(~52%)	148.2
1319	乙醇胺(28%)+4-氯甲苯(72%)	148.3
1320	糠醛(27%)+异丙苯(73%)	148.5
1321	2-正丙氧基乙醇(68%)+二戊烯(32%)	148.5
1322	1,1,2,2-四氯乙烷+二丙基甲酮	>148.5
1323	甲酸(18%)+吡啶(82%)	148.5
1324	丙酸(74%)+吡啶(26%)	~149
1325	乙酸戊酯	149.2
1326	乙二醇(18.5%)+α-蒎烯(81.5%)	149.5
1327	乙醇胺(30.5%)+二异戊基醚(69.5%)	149.5
1328	丁酸(20%)+异丙苯(80%)	149.5
1329	2-丙氧基乙醇(60%)+2-氯甲苯(40%)	149.5
1330	1-己醇(35%)+异丙苯(65%)	149.5
1331	2-丙氧基乙醇(70%)+4-氯甲苯(30%)	149.7
1332	环己酮(40%)+α-蒎烯(60%)	149.8
1333	环己醇(35.5%)+α-蒎烯(64%)	149.9
1334	1,1,2,2-四氯乙烷(68%)+乙酸异戊酯(32%)	150.0
1335	环己醇(28%)+异丙苯(72%)	150.0
1336	1-己醇(42%)+α-蒎烯(58%)	150.0
1337	乳酸乙酯(53%)+溴苯(47%)	150.1
1338	2-丙氧基乙醇(77%)+二异戊基醚(23%)	150.1
1339	乙二醇(12%)+溴苯(88%)	150.2
1340	丁酸(28%)+α-蒎烯(72%)	150.2
1341	1,1,2,2-四氯乙烷(>60%)+丁酸丙酯(<40%)	>150.2
1342	甲基戊基甲酮	150.4
1343	1,3-二氯-2-丙醇+α-蒎烯(63.5%)	150.4
1344	1,2,3-三氯丙烷(>75%)+α-蒎烯(<25%)	150.5
1345	1,1,2,2-四氯乙烷(63%)+1-甲氧基-2-乙酰氧基乙烷(37%)	150.9
1346	乳酸乙酯(65%)+2-氯甲苯(35%)	151.0
1347	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(40%)+α-蒎烯(60%)	151.0
1348	糠醛(14%)+2-丙氧基乙醇(86%)	151.1
1349	2-正丙氧基乙醇	151.3
1350	乳酸乙酯(5%)+2-丙氧基乙醇(95%)	151.3
1351	2-丙氧基乙醇(87.5%)+1-乙氧基-2-乙酰氧基乙醇(12.5%)	151.3
1352	2,3-二氯-1-丙醇(37%)+α-蒎烯(63%)	151.5
1353	2-正丁氧基乙醇(25%)+α-蒎烯(75%)	151.5
1354	溴苯(66%)+1-己醇(34%)	151.6
1355	2-甲基环己醇(12%)+异丙苯(88%)	151.7
1356	异丙苯(80%)+α-蒎烯(20%)	151.8
1357	1,1,2,2-四氯乙烷(50%)+丙酸丁酯(50%)	152.0
1358	1,2,3-三氯丙烷(77%)+丁酸(23%)	152.0
1359	乳酸乙烯(72%)+4-氯甲苯(28%)	152.0
1360	环己醇(65%)+异丙苯(35%)	152.0
1361	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(15%)+异丙苯(85%)	152.0
1362	丁酸(18%)+溴苯(82%)	152.2
1363	异丙苯	152.4
1364	乙二醇(<14%)+1,2,3-三氯丙烷(>86%)	<152.5
1365	1,3-三氯-2-丙醇+异丙苯	<152.5
1366	乙酸(30.4%)+3-甲基吡啶(69.6%)	152.5
1367	乙二醇(13%)+2-氯甲苯(87%)	152.5

续表

序号	组分	沸点 t/℃
1368	1,2,3-三氯丙烷(60%)+1-己醇(40%)	152.8
1369	2-甲基环己醇(20%)+α-蒎烯(80%)	152.8
1370	乳酸乙酯(<88%)+二戊烯(>12%)	<153.0
1371	二甲基甲酰胺	153.0
1372	乙醇胺(37%)+二戊烯(63%)	153.0
1373	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(~15%)+α-蒎烯(~85%)	153.0
1374	1,1,2,2-四氯乙烷(40%)+乙酸戊酯(60%)	153.1
1375	糠醛(23%)+溴苯(77%)	153.3
1376	溴苯(50%)+α-蒎烯(50%)	153.4
1377	1-己醇(44%)+2-氯甲苯(56%)	153.5
1378	溴苯(69%)+环己醇(31%)	153.6
1379	五氯乙烷(35%)+乳酸乙酯(65%)	153.7
1380	1,2,3-三氯丙烷(85%)+乳酸乙酯(15%)	153.7
1381	乳酸乙酯(66%)+环己酮(34%)	153.7
1382	乳酸乙酯(82%)+1-环己醇(18%)	153.7
1383	糠醛(55%)+二异戊醚(45%)	153.9
1384	1-己醇(<54%)+4-氯甲苯(>46%)	<154.0
1385	乳酸乙酯	154
1386	乳酸乙酯(94%)+环己醇(6%)	154.0
1387	糠醛(44%)+1-己醇(56%)	154.1
1388	乙酸(30.3%)+4-甲基吡啶(69.7%)	154.3
1389	乙醇胺(37%)+对异丙基苯甲烷(63%)	154.5
1390	丁酸(27%)+2-氯甲苯(73%)	154.5
1391	2-氯甲苯+α-蒎烯	154.5
1392	五氯乙烷(88%)+乙二醇(12%)	154.6
1393	乙二醇(14%)+4-氯甲苯(86%)	154.8
1394	1,2,3-三氯丙烷(69%)+环己醇(31%)	154.9
1395	丁酸丁酯(<20%)+α-蒎烯(>80%)	<155.0
1396	糠醛(35%)+2-氯甲苯(65%)	155.0
1397	环己醇(37%)+2-氯甲苯(63%)	155.2
1398	苯胺(~15%)+α-蒎烯(~85%)	155.3
1399	4-氯甲苯(<20%)+α-蒎烯(>80%)	<155.5
1400	1,3-二氯-2-丙醇(~9%)+溴苯(~91%)	155.5
1401	溴苯(63%)+1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(37%)	155.5
1402	1,2,3-三氯丙烷(30%)+溴苯(70%)	155.6
1403	环己酮	155.7
1404	五氯乙烷(54%)+1-己醇(46%)	155.7
1405	五氯乙烷(11%)+α-蒎烯(89%)	155.7
1406	环己酮(94%?)+1-己醇(6%?)	155.7
1407	溴苯(93.5%?)+2-丁氧基乙醇(6.5%)	155.9
1408	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(<63%)+1-己醇(>37%)	<156.0
1409	1,2,3-三氯丙烷	156.0
1410	糠醛(65%)+二戊烯(35%)	156.0
1411	溴苯	156.1
1412	α-蒎烯	156.1
1413	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷	156.4
1414	糠醛(55%)+环己醇(45%)	156.4
1415	环己醇(45%)+4-氯甲苯(55%)	156.5
1416	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(95%)+二异戊基醚(5%)	156.5
1417	1-己醇	156.6
1418	1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(90%)+2-氯甲苯(10%)	156.6
1419	五氯乙烷(74%)+丁酸(26%)	156.8
1420	五氯乙烷(~60%)+糠醛(~40%)	156.8
1421	丁酸(32%)+4-氯甲苯(68%)	156.8
1422	甲酸(~25%)+2-甲基吡啶(~75%)	157
1423	1-己醇(89%)+二异戊基醚(11%)	157.0
1424	糠醛(42%)+4-氯甲苯(58%)	157.2
1425	1-己醇(80%)+二戊烯(20%)	157.2
1426	乙醇胺(40%)+1,2-二氯苯(60%)	157.3
1427	二(2-氯乙基)醚(<22%)+1-己醇(>78%)	<157.5
1428	1,3-二氯-2-丙醇(15%)+2-氯甲苯(85%)	157.8
1429	五氯乙烷(63%)+环己醇(37%)	157.9
1430	1,1,2,2-四氯乙烷(26%)+1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(74%)	158.2
1431	2,4-二甲基吡啶	158.3
1432	2-氯甲苯+2-甲基环己醇	158.4
1433	糠醛(>83%)+二戊基醚(<17%)	<158.5
1434	2-丁氧基乙醇(12%)+2-氯甲苯(88%)	158.5
1435	糠醛(74%)+2-甲基环己醇(26%)	158.6
1436	1,1,2,2-四氯乙烷(45%)+环己酮(55%)	159.0
1437	丙酸+3-甲基吡啶	~159
1438	丙酸+4-甲基吡啶	~159
1439	2-氯甲苯	159.2
1440	环己醇(73.5%)+二戊烯(26.5%)	159.3
1441	丁酸(42.5%)+糠醛(57.5%)	159.4
1442	环己醇(79%)+二异戊基醚(21%)	159.4
1443	环己醇(74%)+对异丙基苯甲烷(26%)	159.5
1444	五氯乙烷(78%)+1,3-二氯-2-丙醇(22%)	159.8
1445	乙醇胺(<50%)+二戊基醚(>50%)	<160.0
1446	1,2,3-三氯丙烷(61%)+环己酮(39%)	160.0
1447	1,3-二氯-2-丙醇(22%)+4-氯甲苯(78%)	160.0
1448	乙二醇(16%)+丁酸丁酯(84%)	160.3
1449	环己醇+丁酸丁酯	<160.5
1450	五氯乙烷	160.5
1451	2-丁氧基乙醇(20%)+4-氯甲苯(80%)	160.5
1452	糠醛(<94%)+1-庚醇(>6%)	<160.9
1453	丁酸(56%)+二戊烯(44%)	160.9
1454	糠醛(<95%)+对异丙基苯甲烷(>5%)	<161.0
1455	丁酸(60%)+对异丙基苯甲烷(40%)	161.0
1456	糠醛(~78%)+1,2-二氯苯(~22%)	161.0
1457	环己醇	161.1
1458	4-氯甲苯(~75%)+2-甲基环己醇(~25%)	161.1
1459	糠醛(~88%)+2-丁氧基乙醇(~12%)	~161.2
1460	乙二醇(22%)+二异戊基醚(78%)	161.4
1461	1,1,2,2-四氯乙烷(~3%)+糠醛(~97%)	161.6
1462	糠醛	161.7
1463	丁酸(54%)+二异戊基醚(46%)	161.8
1464	4-氯甲苯(~92%)+1-庚醇(~8%)	161.9
1465	4-氯甲苯	162.4
1466	丁酸(65%)+1,2-二氯苯(35%)	163.0
1467	乙二醇(25%)+对异丙基甲烷(75%)	163.2
1468	丁酸	163.3
1469	乙二醇(23%)+二戊烯(77%)	163.3
1470	糠醇(55%)+二异戊基醚(45%)	163.5
1471	丙酸+2-甲基吡啶	~164

续表

序号	组　分	沸点 t/°C
1472	糠醇(30%)+丁酸丁酯(70%)	164.0
1473	2-丁氧基乙醇(53%)+二戊烯(47%)	164.0
1474	乙二醇(15%)+二异丁基甲酮(85%)	164.2
1475	丁酸(82%)+1-乙氧基-2-乙酰氧基乙烷(18%)	164.3
1476	2-丁氧基乙醇(53.5%)+二异戊基醚(46.5%)	164.9
1477	α-2-甲基环己醇	165
1478	五氯乙烷(73%)+环己酮(27%)	165.0
1479	2-丁氧基乙醇(20%)+丁酸丁酯(80%)	165.0
1480	2-甲基环己酮	165.1
1481	2-甲基环己醇(60%)+二戊烯(40%)	165.3
1482	1,3-二氯-2-丙醇(48%)+二异戊基醚(52%)	165.7
1483	乙二醇(20%)+1,2-二氯苯(80%)	165.8
1484	1,3-二氯-2-丙醇(57%)+二戊烯(43%)	165.8
1485	2-甲基环己醇(63%)+二异戊基醚(37%)	166.2
1486	2-甲基环己醇(<68%)+对异丙基苯甲烷(>32%)	<166.5
1487	β-2-甲基环己醇	166.5
1488	丁酸丁酯	166.6
1489	乙醇胺(43%)+2-丁氧基乙醇(57%)	167.0
1490	二(2-氯乙基)醚(<40%)+甲基环己醇(>60%)	<167.5
1491	糠醇(>60%)+2-丁氧基乙醇(<40%)	<167.5
1492	2,3-二氯-1-丙醇(37%)+二异戊基醚(63%)	167.5
1493	2-甲基环己醇(40%)+二异丁基甲酮(60%)	167.5
1494	乙二醇(20%)+甲基己基甲酮(80%)	168.0
1495	2-丁氧基乙醇(60%)+对异丙基苯甲烷(40%)	168.0
1496	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(33%)+二戊烯(67%)	168.5
1497	苯甲醛(37.5%)+二异戊基醚(62.5%)	168.6
1498	乙二醇(26%)+戊基醚(74%)	168.8
1499	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(23%)+二异戊基醚(77%)	168.8
1500	五氯乙烷(35%)+二异丁基酮(65%)	169.0
1501	2,3-二氯-1-丙醇(>44%)+二戊烯(<56%)	169.0
1502	2-丁氧基乙醇(67%)+二戊基醚(33%)	169.0
1503	4-羟基-4-甲基-2-戊酮	169.2
1504	二异丁基甲酮	169.3
1505	二(2-氯乙基)醚(39%)+二异戊基醚(61%)	169.4
1506	苯胺(28%)+二异戊基醚(72%)	169.4
1507	1,2-丙二醇+甲基己基甲酮	<169.5
1508	3-甲基环己酮	169.6
1509	糠醇	170.0
1510	甲基己基甲酮(55%)+二戊烯(45%)	170.0
1511	1,2-二乙酰氧基乙烷+二异戊基醚	170.1
1512	1-丁氧基-2-丙醇	170.2
1513	1-庚醇(38%)+二异戊基醚(62%)	170.2
1514	乙醇胺(90%)+苯胺(10%)	170.3
1515	1,3-二氯-2-丙醇(60%)+1,2-二氯苯(40%)	170.5
1516	1,2-二氯苯(27%)+2-丁氧基乙醇(73%)	170.5
1517	二(2-氯乙基)醚(25%)+2-丁氧基乙醇(75%)	170.9
1518	1,3-二氯-2-丙醇(55%)+对丙基苯甲烷(45%)	171.0
1519	2-丁氧基乙醇(91%)+苯甲醛(9%)	171.0
1520	乙醇胺	171.1
1521	乙二醇(21%)+二(2-氯乙基)醚(79%)	171.1
1522	2-丁氧基乙醇	171.2
1523	苯甲醛(43%)+二戊烯(57%)	171.2
1524	4-甲基环己酮	171.3
1525	苯胺(39%)+二戊烯(61%)	171.3
1526	1-庚醇(50%)+二戊烯(50%)	171.7
1527	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(27%)+对异丙基苯甲烷(73%)	172.0
1528	2,3-二氯-1-丙醇(42%)+对异丙基苯甲烷(58%)	172.5
1529	1-庚醇(47%)+对异丙基苯甲烷(53%)	172.5
1530	甲基己基甲酮(75%)+对异丙基苯甲烷(25%)	172.5
1531	二异戊基醚(83%)+2-辛醇(17%)	172.7
1532	2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇(23%)+二戊烯(77%)	173.0
1533	二异戊基醚	173.4
1534	乙二醇(>15%)+苯甲醛(<85%)	<173.5
1535	1,2-二乙酰氧基乙烷(<37%)+二戊烯(>63%)	<173.5
1536	α-3-甲基环己醇	173.5
1537	甲基己基甲酮	173.5
1538	二(2-氯乙基)醚(50%)+1-庚醇(50%)	173.5
1539	1,2-二氯苯(45%)+1-庚醇(55%)	173.5
1540	苯胺(27%)+对异丙基苯甲烷(73%)	173.5
1541	α-4-甲基环己醇	174.0
1542	苯甲醛(30%?)+对异丙基苯甲烷(70%?)	174.0
1543	乙二醇(17%)+1-庚醇(83%)	174.1
1544	2,3-二氯-1-丙醇(40%)+1,2-二氯苯(60%)	174.2
1545	1,3-二氯-2-丙醇(47%)+1-庚醇(53%)	174.2
1546	β-4-甲基环己醇	174.4
1547	苯甲醛(<45%)+1-庚醇(>55%)	<174.5
1548	己酸环己酯	174.5
1549	2-辛醇(42%)+二戊烯(58%)	174.8
1550	1,3-二氯-2-丙醇	175
1551	β-3-甲基环己醇	175.0
1552	2-辛醇(<40%)+对异丙基苯甲烷(>60%)	<175.2
1553	苯甲醛(68%)+戊基醚(32%)	175.2
1554	1,3-二氯-2-丙醇(85%)+2-辛醇(15%)	175.4
1555	苯胺(22%)+1-庚醇(78%)	175.4
1556	乙二醇(21%)+2-辛醇(79%)	175.6
1557	对异丙基苯甲烷(60%)+二戊烯(40%)	175.8
1558	1-庚醇	175.9
1559	二(2-氯乙基)醚(>11%)+对异丙基苯甲烷(<89%)	<176.4
1560	苯甲醇(11%)+二戊烯(89%)	176.4
1561	二(2-氯乙基)醚(<88%)+二戊基醚(>12%)	<176.5
1562	苯甲醛(60%)+2-辛醇(40%)	176.5
1563	二戊烯	176.7

续表

序号	组　　分	沸点 t/℃
1564	二(2-氯乙基)醚(60%)+1,2-二氯苯(40%)	176.7
1565	二(2-氯乙基)醚(<35%)+二戊烯(>65%)	<176.8
1566	四氢糠醇	177.0
1567	对丙基苯甲烷	177.1
1568	二(2-氯乙基)醚(<62%)+2-辛醇(>38%)	<177.2
1569	1,2-二氯苯(70%)+苯胺(30%)	177.4
1570	1,3-二氯-2-丙醇(>85%)+二异丁基酮(<15%)	177.5
1571	1,2-二氯苯(>20%)+二戊烯(<80%)	177.5
1572	苯胺(55%)+二戊基醚(45%)	177.5
1573	1-辛醇(~6%)+二戊烯(~94%)	177.5
1574	丙三醇(~1%)+二戊烯(~99%)	177.7
1575	1,2-二氯苯(58%)+2-辛醇(42%)	177.7
1576	乙二醇(26.1%)+二(2-乙氧乙基)醚(73.9%)	178.0
1577	1,2-二氯苯(>48%)+苯甲醛(<52%)	<178.5
1578	二(2-氯乙基)醚	178.6
1579	2,5-己二醇(>18%)+2-辛醇(<82%)	<179.0
1580	1,2-二乙酰氧基乙烷(<60%)+二戊基醚(>40%)	<179.0
1581	2-辛醇	179.0
1582	1,3-二氯-2-丙醇(67%?)+甲基己基甲酮(33%?)	179.0
1583	苯胺(36%)+2-辛醇(64%)	179.0
1584	苯甲醛	179.1
1585	1,2-乙酰氧基乙烷+2-辛醇	179.2
1586	2,3-二氯-1-丙醇(35%)+2-辛醇(65%)	179.4
1587	乙二醇(<24%)+1,2-二乙酰氧基乙烷(>76%)	<179.5
1588	1,2-丙二醇(43%)+苯胺(57%)	179.5
1589	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(46%)+二戊基醚(54%)	179.5
1590	2-辛醇(86%)+二戊基醚(14%)	179.8
1591	乙二醇(<45%)+2,5-己二酮(>55%)	<180.5
1592	1,2-二氯苯	180.5
1593	乙二醇(24%)+苯胺(76%)	180.6
1594	2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇(~30%)+1,2-二乙酰氧基乙烷(~70%)	181.5
1595	2,3-二氯-1-丙醇	182
1596	2,3-丁二醇	182
1597	2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇+二戊基醚	<183.0
1598	1,2-丙二醇+苯乙酮	<183.5
1599	苯胺	183.9
1600	2,3-二氯-1-丙醇+甲基己基甲酮	184.0
1601	苯胺(83%)+1-辛醇(17%)	184.0
1602	乙二醇(36.5%)+1-辛醇(63.5%)	184.4
1603	反十氢化萘	185.5
1604	乙二醇(52%)+苯乙酮(48%)	185.7
1605	乙二醇(59%)+硝基苯(41%)	185.9
1606	1,2-二乙酰氧基乙烷+1-辛醇	<186.0
1607	二戊基醚	186.8
1608	二(2-氯异丙基)醚	187.0
1609	乳酸丁酯	187
1610	1,2-丙二醇	187.4
1611	二(2-乙氧基乙基)醚	188.9
1612	1-(2-甲氧基丙氧基)-2-丙醇	189
1613	2,5-己二酮(>65%)+1-辛醇(<35%)	<190.0
1614	乳酸	~190
1615	1,2-乙酰氧基乙烷	190.8
1616	2,5-己二酮	191.4
1617	1-丁氧基-2-乙酰氧基乙烷	191.5
1618	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(80%)+苯乙酮(20%)	191.9
1619	2-(2-甲氧乙氧基)己醇+苯甲醇	<192.5
1620	乙二醇(20%)+2-(2-甲氧乙氧基)乙醇(80%)	192.6
1621	乙二醇(53.5%)+苯甲醇(46.5%)	193.4
1622	2-(2-甲氧乙氧基)乙醇	194.2
1623	顺十氢化萘	194.6
1624	乙二醇(29.5%)+2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇(70.5%)	195.0
1625	乙二醇+2-乙氧基-2'-乙酰氧基二乙基乙基醚	195.0
1626	苯乙酮(12.5%)+1-辛醇(87.5%)	195.0
1627	1-辛醇	195.3
1628	乙二醇(72.5%)+2-(2-丁氧基乙氧基)乙醇(27.5%)	196.2
1629	1-(2-乙氧丙氧基)-2-丙醇	197
1630	乙二醇	197.9
1631	苯乙酮	202.0
1632	2-(2-乙氧基乙氧基)乙醇	202.8
1633	1-苯基乙醇	203.5
1634	1,2-二丁氧基乙烷	203.6
1635	硝基苯(38%)+苯甲醇(62%)	204.2
1636	苯甲醇	205.4
1637	1,3-丁二醇	207.4
1638	四氢化萘	207.6
1639	甲酰胺	~210
1640	二乙二醇(10%)+硝基苯(90%)	210.0
1641	硝基苯	210.8
1642	3-氯-1,2-丙二醇	213.0
1643	1,3-丙二醇	214.7
1644	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	215.2
1645	2-乙氧基-2'-乙酰氧基二乙基醚	217.4
1646	二(2-氯乙氧基)甲烷	218.1
1647	二己基醚	226.2
1648	1,4-丁二醇	228
1649	1-(2-丁氧丙氧基)-2-丙醇	228
1650	2-(2-丁氧乙氧基)乙醇	230.4
1651	二丙二醇	231.8
1652	二乙二醇+2-苯氧基乙醇	<244.5
1653	2-苯氧基乙醇	244.7
1654	二乙二醇	245.0
1655	2-丁氧基-2'-乙酰氧基二乙基醚	246.8
1656	二(2-丁氧乙基)醚	254.6
1657	2-苯甲酸基乙醇	255.9
1658	三乙酸甘油酯	260
1659	丙三醇(37%)+三乙二醇(63%)	285.1
1660	三乙二醇	287.4
1661	丙三醇	290
1662	三乙醇胺	360

表 1-58 不同温度下水的饱和蒸汽压

1. 以 mmHg❶（毫米汞柱）表示

下表系水与水蒸气接触时之数值。若水与空气接触，需加上下列校正数值：温度在 40℃以下时，校正值为 $P(0.0775 \sim 3.13\times10^{-4}t)/100$；温度在 50℃以上时，校正值为 $P(0.0652 \sim 8.75\times10^{-5}t)/100$。

t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg
−10.0	2.149	1.0	4.926	12.0	10.518	23.0	21.068	34.0	39.898
−9.8	2.184	1.2	4.998	12.2	10.658	23.2	21.324	34.2	40.344
−9.6	2.219	1.4	5.070	12.4	10.799	23.4	21.583	34.4	40.796
−9.4	2.254	1.6	5.144	12.6	10.941	23.6	21.845	34.6	41.251
−9.2	2.289	1.8	5.219	12.8	11.085	23.8	22.110	34.8	41.710
−9.0	2.326	2.0	5.294	13.0	11.231	24.0	22.377	35.0	42.175
−8.8	2.362	2.2	5.370	13.2	11.379	24.2	22.648	35.2	42.644
−8.6	2.399	2.4	5.447	13.4	11.528	24.4	22.922	35.4	43.117
−8.4	2.437	2.6	5.525	13.6	11.680	24.6	23.198	35.6	43.595
−8.2	2.475	2.8	5.605	13.8	11.833	24.8	23.476	35.8	44.078
−8.0	2.514	3.0	5.685	14.0	11.987	25.0	23.756	36.0	44.563
−7.8	2.553	3.2	5.766	14.2	12.144	25.2	24.039	36.2	45.054
−7.6	2.593	3.4	5.848	14.4	12.302	25.4	24.326	36.4	45.549
−7.4	2.633	3.6	5.931	14.6	12.462	25.6	24.617	36.6	46.050
−7.2	2.674	3.8	6.015	14.8	12.624	25.8	24.912	36.8	46.556
−7.0	2.715	4.0	6.101	15.0	12.788	26.0	25.209	37.0	47.067
−6.8	2.757	4.2	6.187	15.2	12.953	26.2	25.509	37.2	47.582
−6.6	2.800	4.4	6.274	15.4	13.121	26.4	25.812	37.4	48.102
−6.4	2.843	4.6	6.363	15.6	13.290	26.6	26.117	37.6	48.627
−6.2	2.887	4.8	6.453	15.8	13.461	26.8	26.426	37.8	49.157
−6.0	2.931	5.0	6.543	16.0	13.634	27.0	26.739	38.0	49.692
−5.8	2.976	5.2	6.635	16.2	13.809	27.2	27.055	38.2	50.231
−5.6	3.022	5.4	6.728	16.4	13.987	27.4	27.374	38.4	50.774
−5.4	3.069	5.6	6.822	16.6	14.166	27.6	27.696	38.6	51.323
−5.2	3.115	5.8	6.917	16.8	14.347	27.8	28.021	38.8	51.879
−5.0	3.163	6.0	7.013	17.0	14.530	28.0	28.349	39.0	52.442
−4.8	3.211	6.2	7.111	17.2	14.715	28.2	28.680	39.2	53.009
−4.6	3.259	6.4	7.209	17.4	14.903	28.4	29.015	39.4	53.580
−4.4	3.309	6.6	7.309	17.6	15.092	28.6	29.354	39.6	54.156
−4.2	3.359	6.8	7.411	17.8	15.284	28.8	29.697	39.8	54.737
−4.0	3.410	7.0	7.513	18.0	15.477	29.0	30.043	40.0	55.324
−3.8	3.461	7.2	7.617	18.2	15.673	29.2	30.392	40.2	55.91
−3.6	3.514	7.4	7.722	18.4	15.871	29.4	30.745	40.4	56.51
−3.4	3.567	7.6	7.828	18.6	16.071	29.6	31.102	40.6	57.11
−3.2	3.620	7.8	7.936	18.8	16.272	29.8	31.461	40.8	57.72
−3.0	3.673	8.0	8.045	19.0	16.477	30.0	31.824	41.0	58.34
−2.8	3.730	8.2	8.155	19.2	16.685	30.2	32.191	41.2	58.96
−2.6	3.785	8.4	8.267	19.4	16.894	30.4	32.561	41.4	59.58
−2.4	3.841	8.6	8.380	19.6	17.105	30.6	32.934	41.6	60.22
−2.2	3.898	8.8	8.494	19.8	17.319	30.8	33.312	41.8	60.86
−2.0	3.956	9.0	8.609	20.0	17.535	31.0	33.695	42.0	61.50
−1.8	4.016	9.2	8.727	20.2	17.753	31.2	34.082	42.2	62.14
−1.6	4.075	9.4	8.845	20.4	17.974	31.4	34.471	42.4	62.80
−1.4	4.135	9.6	8.965	20.6	18.197	31.6	34.864	42.6	63.46
−1.2	4.196	9.8	9.086	20.8	18.422	31.8	35.261	42.8	64.12
−1.0	4.258	10.0	9.209	21.0	18.650	32.0	35.663	43.0	64.80
−0.8	4.320	10.2	9.333	21.2	18.880	32.2	36.068	43.2	65.48
−0.6	4.385	10.4	9.458	21.4	19.113	32.4	36.477	43.4	66.16
−0.4	4.448	10.6	9.585	21.6	19.349	32.6	36.891	43.6	66.86
−0.2	4.513	10.8	9.714	21.8	19.587	32.8	37.308	43.8	67.56
0.0	4.579	11.0	9.844	22.0	19.827	33.0	37.729	44.0	68.26
0.2	4.647	11.2	9.976	22.2	20.070	33.2	38.155	44.2	68.97
0.4	4.715	11.4	10.109	22.4	20.316	33.4	38.584	44.4	69.69
0.6	4.785	11.6	10.244	22.6	20.565	33.6	39.018	44.6	70.41
0.8	4.855	11.8	10.380	22.8	20.815	33.8	39.457	44.8	71.14

❶ 1mmHg＝133.322Pa。

续表

t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg	t/℃	P/mmHg
45.0	71.88	57.0	129.82	76.0	301.4	92.0	566.99	99.8	754.58
45.2	72.62			76.5	307.7	92.2	571.26		
45.4	73.36	57.5	132.95	77.0	314.1	92.4	575.55	100.0	760.00
45.6	74.12	58.0	136.08			92.6	579.87	101	787.51
45.8	74.88	58.5	139.34	77.5	320.7	92.8	584.22	102	815.86
		59.0	142.60	78.0	327.3			103	845.12
46.0	75.65	59.5	145.99	78.5	334.2	93.0	588.60	104	875.06
46.2	76.43			79.0	341.0	93.2	593.00		
46.4	77.21	60.0	149.38	79.5	348.1	93.4	597.43	105	906.07
46.6	78.00	60.5	152.91			93.6	601.89	106	937.92
46.8	78.80	61.0	156.43	80.0	355.1	93.8	606.38	107	970.60
		61.5	160.10	80.5	362.4			108	1004.42
47.0	79.60	62.0	163.77	81.0	369.7	94.0	610.90	109	1038.92
47.2	80.41			81.5	477.3	94.2	615.44		
47.4	81.23	62.5	167.58	82.0	384.9	94.4	620.01	110	1074.56
47.6	82.05	63.0	171.38			94.6	624.61	111	1111.20
47.8	82.87	63.5	175.35	82.5	392.8	94.8	629.24	112	1148.74
		64.0	179.31	83.0	400.6			113	1187.42
48.0	83.71	64.5	183.43	83.5	408.7	95.0	633.90	114	1227.25
48.2	84.56			84.0	416.8	95.2	638.59		
48.4	85.42	65.0	187.54	84.5	425.2	95.4	643.30	115	1267.98
48.6	86.28	65.5	191.82			95.6	648.05	116	1309.94
48.8	87.14	66.0	196.09	85.0	433.6	95.8	652.82	117	1352.95
		66.5	200.53	85.5	442.3			118	1397.18
49.0	88.02	67.0	204.96	86.0	450.9	96.0	657.62	119	1442.63
49.2	88.90			86.5	459.8	96.2	662.45		
49.4	89.79	67.5	209.57	87.0	468.7	96.4	667.31	120	1489.14
49.6	90.69	68.0	214.17			96.6	672.20	121	1536.80
49.8	91.59	68.5	218.95	87.5	477.9	96.8	677.12	122	1586.04
		69.0	223.73	88.0	487.1			123	1636.36
50.0	92.51	69.5	228.72	88.5	496.6	97.0	682.07	124	1687.81
50.5	94.86			89.0	506.1	97.2	687.04		
51.0	97.20	70.0	233.7	89.5	515.9	97.4	692.05	125	1740.93
51.5	99.65	70.5	238.8			97.6	697.10	126	1795.12
52.0	102.09	71.0	243.9	90.0	525.76	97.8	702.17	127	1850.83
		71.5	249.3	90.2	529.77			128	1907.83
52.5	104.65	72.0	254.6	90.4	533.80	98.0	707.27	129	1966.35
53.0	107.20			90.6	537.86	98.2	712.40		
53.5	109.86	72.5	260.2	90.8	541.95	98.4	717.56	130	2026.16
54.0	112.51	73.0	265.7			98.6	722.75	140	2710.92
54.5	115.28	73.5	271.5	91.0	546.05	98.8	727.98	150	3570.48
		74.0	277.2	91.2	550.18			160	4636.00
55.0	118.04	74.5	283.2	91.4	554.35	99.0	733.24	170	5940.92
55.5	120.92			91.6	558.53	99.2	738.53		
56.0	123.80	75.0	289.1	91.8	562.75	99.4	743.85		
56.5	126.81	75.5	295.3			99.6	749.20		

2. 以 kPa(千帕)表示[1]

下表列出的是水从熔点至临界点的蒸汽压,单位为 kPa(千帕)。

t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa
0	0.61129	14	1.5988	28	3.7818	41	7.7840	55	15.752
1	0.65716	15	1.7056	29	4.0078	42	8.2054	56	16.522
2	0.70605	16	1.8185	30	4.2455	43	8.6463	57	17.324
3	0.75813	17	1.9380			44	9.1075	58	18.159
4	0.81359	18	2.0644	31	4.4953	45	9.5898	59	19.028
5	0.87260	19	2.1978	32	4.7578	46	10.094	60	19.932
6	0.93537	20	2.3388	33	5.0335	47	10.620		
7	1.0021			34	5.3229	48	11.171	61	20.873
8	1.0730	21	2.4877	35	5.6267	49	11.745	62	21.851
9	1.1482	22	2.6447	36	5.9453	50	12.344	63	22.868
10	1.2281	23	2.8104	37	6.2795			64	23.925
		24	2.9850	38	6.6298	51	12.970	65	25.022
11	1.3129	25	3.1690	39	6.9969	52	13.623	66	26.163
12	1.4027	26	3.3629	40	7.3814	53	14.303	67	27.347
13	1.4979	27	3.5670			54	15.012	68	28.576

[1] 数据取自 NBSINRC Steam Tables, L. Haar, J. S. Gallagher, G. S. Keu 等著, Nes York Hemisphere Publishing Crop., 1984.

续表

t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa	t/℃	P/kPa
69	29.852	130	270.02	191	1281.9	252	4109.6	313	10271
70	31.176			192	1310.1	253	4178.9	314	10410
		131	278.20	193	1338.8	254	4249.1	315	10551
71	32.549	132	286.57	194	1368.0	255	4320.2	316	10694
72	33.972	133	295.15	195	1397.6	256	4392.2	317	10838
73	35.448	134	303.93	196	1427.8	257	4465.1	318	10984
74	36.978	135	312.93	197	1458.5	258	4539.0	319	11131
75	38.563	136	322.14	198	1489.7	259	4613.7	320	11279
76	40.205	137	331.57	199	1521.4	260	4689.4		
77	41.905	138	341.22	200	1553.6			321	11429
78	43.665	139	351.09			261	4766.1	322	11581
79	45.487	140	361.19	201	1568.4	262	4843.7	323	11734
80	17.373			202	1619.7	263	4922.3	324	11889
		141	371.53	203	1653.6	264	5001.8	325	12046
81	49.324	142	382.11	204	1688.0	265	5082.3	326	12204
82	51.342	143	392.92	205	1722.9	266	5163.8	327	12364
83	53.428	144	403.98	206	1758.4	267	5246.3	328	12525
84	55.585	145	415.29	207	1794.5	268	5329.8	329	12688
85	57.815	146	426.85	208	1831.1	269	5414.3	330	12852
86	60.119	147	438.67	209	1868.4	270	5499.9		
87	62.499	148	450.75	210	1906.2			331	13019
88	64.958	149	463.10			271	5586.4	332	13187
89	67.496	150	475.72	211	1944.6	272	5674.0	333	13357
90	70.117			212	1983.6	273	5762.7	334	13528
		151	488.61	213	2023.2	274	5852.4	335	13701
91	72.823	152	501.78	214	2063.4	275	5943.1	336	13876
92	75.614	153	515.23	215	2104.2	276	6035.0	337	14053
93	78.494	154	528.96	216	2145.7	277	6127.9	338	14232
94	81.465	155	542.99	217	2187.8	278	6221.9	339	14412
95	84.529	156	557.32	218	2230.5	279	6317.2	340	14594
96	87.688	157	571.94	219	2273.8	280	6413.2		
97	90.945	158	586.87	220	2317.8			341	14778
98	94.301	159	602.11			281	6510.5	342	14964
99	97.759	160	617.66	221	2362.5	282	6608.9	343	15152
100	101.32			222	2407.8	283	6708.5	344	15342
		161	633.53	223	2453.8	284	6809.2	345	15533
101	104.99	162	649.73	224	2500.5	285	6911.1	346	15727
102	108.77	163	666.25	225	2547.9	286	7014.1	347	15922
103	112.66	164	683.10	226	2595.9	287	7118.3	348	16120
104	116.67	165	700.29	227	2644.6	288	7223.7	349	16320
105	120.79	166	717.83	228	2694.1	289	7330.2	350	16521
106	125.03	167	735.70	229	2744.2	290	7438.0		
107	129.39	168	753.94	230	2795.1			351	16825
108	133.88	169	772.52			291	7547.0	352	16932
109	138.50	170	791.47	231	2846.7	292	7657.2	353	17138
110	143.24			232	2899.0	293	7768.6	354	17348
		171	810.78	233	2952.1	294	7881.3	355	17561
111	148.12	172	830.47	234	3005.9	295	7995.2	356	17775
112	153.13	173	850.53	235	3060.4	296	8110.3	357	17992
113	158.29	174	870.98	236	3115.7	297	8226.8	358	18211
114	163.58	175	891.80	237	3171.8	298	8344.5	359	18432
115	169.02	176	913.03	238	3288.6	299	8463.5	360	18655
116	174.61	177	934.64	239	3286.3	300	8583.8		
117	180.34	178	956.66	240	3344.7			361	18881
118	186.23	179	979.09			301	8705.4	362	19110
119	192.28	180	1001.9	241	3403.9	302	8828.3	363	19340
120	198.48			242	3463.9	303	8952.6	364	19574
		181	1025.2	243	3524.7	304	9078.2	365	19809
121	204.85	182	1048.9	244	3586.3	305	9205.1	366	20048
122	211.38	183	1073.0	245	3648.8	306	9333.4	367	20289
123	218.09	184	1097.5	246	3712.1	307	9463.1	368	20533
124	224.96	185	1122.5	247	3776.2	308	9594.2	369	20780
125	232.01	186	1147.9	248	3841.2	309	9726.7	370	21030
126	239.24	187	1173.8	249	3907.0	310	9860.5		
127	246.66	188	1200.1	250	3973.6			371	21286
128	254.25	189	1226.1			311	9995.8	372	21539
129	262.04	190	1254.2	251	4041.2	312	10133	373	21803

表 1-59 不同温度下水的密度

表中数据为不含空气的纯水在压力为 101325Pa(1 大气压)下的密度(ρ),单位为(g/cm^{-3})。在不同压力(以大气压为单位时)水达到最高密度的温度 t_m/℃可由下式求得:

$$t_m = 3.98 - 0.0225(P-1)$$

温度 t/℃	水的密度 ρ/(g·cm⁻³)	温度 t/℃	水的密度 ρ/(g·cm⁻³)	温度 t/℃	水的密度 ρ/(g·cm⁻³)	温度 t/℃	水的密度 ρ/(g·cm⁻³)	温度 t/℃	水的密度 ρ/(g·cm⁻³)
0	0.999 84	22	0.997 77	44	0.990 63	66	0.980 01	88	0.966 65
2	0.999 94	24	0.997 30	46	0.989 79	68	0.978 90	90	0.965 31
4	0.999 97	26	0.996 78	48	0.988 93	70	0.977 77	92	0.963 96
6	0.999 94	28	0.996 23	50	0.988 04	72	0.976 61	94	0.962 59
8	0.999 85	30	0.995 65	52	0.987 12	74	0.975 44	96	0.961 20
10	0.999 70	32	0.995 03	54	0.986 18	76	0.974 24	98	0.959 79
12	0.999 50	34	0.994 37	56	0.985 21	78	0.973 03	100	0.958 36
14	0.999 24	36	0.993 69	58	0.984 22	80	0.971 79		
16	0.998 94	38	0.992 97	60	0.983 20	82	0.970 53		
18	0.998 60	40	0.992 22	62	0.982 16	84	0.969 26		
20	0.998 20	42	0.991 44	64	0.981 09	86	0.967 96		

表 1-60 不同压力下水的沸点

1. 压力以 mmHg(毫米汞柱)表示

说明:

(1)本表列出压力为 690.0~800.0 mmHg 时水的沸点。不在此压力范围内的,可查阅本表 2。

(2)表中"压力 P/mmHg"栏内,横向 0.1~0.9 表示其分度值,下面只列出温度之小数部分。例如 690.5mmHg 压力下,水的沸点为 97.337℃。

(3)表中小数部分有 * 号者,其整数应取下一项之整数。例如 707.3 毫米汞柱压力时,水之沸点为 98.000℃。

(4)mmHg 与 SI 单位的换算因数:1mmHg=133.3224Pa。

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	水的沸点 t/℃									
690	97.317	321	325	329	333	337	341	345	349	353
691	97.357	361	365	369	373	377	381	385	389	393
692	97.397	401	405	409	413	417	421	425	429	433
693	97.437	441	445	449	453	457	461	465	469	473
694	97.477	480	484	488	492	496	500	504	508	512
695	97.516	520	524	528	532	536	540	544	548	552
696	97.556	560	564	568	572	576	580	584	588	592
697	97.596	599	603	607	611	615	619	623	627	631
698	97.635	639	643	647	651	655	659	663	667	671
699	97.675	678	682	686	690	694	698	702	706	710
700	97.714	718	722	726	730	734	738	742	746	750
701	97.754	757	761	765	769	773	777	781	785	789
702	97.793	797	801	805	809	813	816	820	824	828
703	97.832	836	840	844	848	852	856	860	864	868
704	97.872	876	879	883	887	891	895	899	903	907
705	97.911	915	919	923	927	931	935	939	943	947
706	97.950	954	958	962	966	970	974	977	981	985
707	97.989	993	996	*000	*004	*008	*012	*016	*020	*024
708	98.028	032	036	040	043	047	051	055	059	063
709	98.067	071	075	079	082	086	090	094	098	102

续表

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	水的沸点 t/℃									
710	98.106	110	114	118	121	125	129	133	137	141
711	98.145	149	153	157	160	164	168	172	176	180
712	98.184	188	192	195	199	203	207	211	215	219
713	98.223	227	230	234	238	242	246	250	254	258
714	98.262	266	270	274	278	282	286	290	293	297
715	98.301	304	308	312	316	320	323	327	331	335
716	98.339	343	347	351	355	358	362	366	370	374
717	98.378	382	385	389	393	397	401	405	409	413
718	98.417	420	424	428	432	436	440	443	447	451
719	98.455	459	463	467	470	474	478	482	486	490
720	98.494	497	501	505	509	513	517	520	524	528
721	98.532	536	540	544	547	551	555	559	563	567
722	98.571	574	578	582	586	590	593	597	601	605
723	98.609	613	617	620	624	628	632	636	640	644
724	98.648	652	655	659	663	667	671	675	678	682
725	98.686	689	693	697	701	705	709	712	716	720
726	98.724	728	732	735	739	743	747	751	755	758
727	98.762	766	770	774	777	781	785	789	793	797
728	98.801	804	808	812	816	819	823	827	831	835
729	98.839	843	846	850	854	858	861	865	869	873
730	98.877	880	884	888	892	896	899	903	907	911
731	98.915	918	922	926	930	934	937	941	945	949
732	98.953	956	960	964	968	972	975	979	983	987
733	98.991	994	998	·002	·006	·010	·013	·017	·021	·025
734	99.029	032	036	040	044	048	051	055	059	063
735	99.067	070	074	078	082	085	089	093	097	101
736	99.105	109	112	116	119	123	127	131	135	138
737	99.142	146	150	153	157	161	165	169	172	176
738	99.180	184	187	191	195	199	203	206	210	214
739	99.218	221	225	229	233	236	240	244	248	252
740	99.255	259	263	267	270	274	278	282	285	289
741	99.293	297	300	304	308	312	316	319	323	327
742	99.331	334	338	342	346	349	353	357	361	364
743	99.368	372	376	379	383	387	391	394	398	402
744	99.406	409	413	417	421	424	428	432	436	439
745	99.443	447	451	454	458	462	466	469	473	477
746	99.481	484	488	492	495	499	503	507	510	514
747	99.518	522	525	529	533	537	540	544	548	551
748	99.555	559	563	566	570	574	578	581	585	589
749	99.593	596	600	604	607	611	615	619	622	626
750	99.630	633	637	641	645	648	652	656	659	663
751	99.667	671	674	678	682	686	689	693	697	700
752	99.704	708	712	715	719	723	726	730	734	738
753	99.741	745	749	752	756	760	764	767	771	775
754	99.778	782	786	790	793	797	801	804	808	812
755	99.815	819	823	827	830	834	838	841	845	849
756	99.852	856	860	863	867	871	875	878	882	886
757	99.889	893	897	900	904	908	911	915	919	923
758	99.926	930	934	937	941	945	948	952	956	959
759	99.963	967	970	974	978	982	985	989	993	996
760	100.000	004	007	011	015	018	022	026	029	033
761	100.037	040	044	048	052	055	059	063	066	070
762	100.073	077	081	085	088	092	096	099	103	107
763	100.110	114	118	121	125	129	132	136	140	143
764	100.147	151	154	158	162	165	169	173	176	180
765	100.184	187	191	195	198	202	206	209	213	216
766	100.220	224	227	231	235	238	242	246	249	253
767	100.257	260	264	268	271	275	279	283	286	290
768	100.293	297	300	304	308	311	315	319	322	326
769	100.330	333	337	341	344	348	352	355	359	363

续表

压力 P/mmHg	压力 P/mmHg									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	水的沸点 t/℃									
770	100.366	370	373	377	381	384	388	392	395	399
771	100.402	406	410	414	417	421	424	428	432	435
772	100.439	442	446	450	453	457	461	464	468	472
773	100.475	479	483	486	490	493	497	501	504	508
774	100.511	515	519	522	526	530	533	537	540	544
775	100.547	551	555	559	562	566	569	573	577	580
776	100.584	588	591	595	598	602	606	609	613	616
777	100.620	624	627	631	634	638	642	645	649	653
778	100.656	660	663	667	671	674	678	681	685	689
779	100.692	696	699	703	707	710	714	718	721	725
780	100.728	732	735	739	743	746	750	753	757	761
781	100.764	768	772	775	779	782	786	789	793	797
782	100.800	804	807	811	815	818	822	825	829	833
783	100.836	840	843	847	851	854	858	861	865	869
784	100.872	876	879	883	886	890	894	897	901	904
785	100.908	912	915	919	922	926	929	933	937	940
786	100.944	947	951	954	958	962	965	969	972	976
787	100.980	984	988	991	995	998	*002	*006	*009	*013
788	101.016	020	023	027	030	034	037	040	044	047
789	101.051	054	058	062	065	069	072	076	079	083
790	101.087	090	094	097	101	104	108	112	115	119
791	101.122	126	129	133	136	140	144	147	151	154
792	101.158	161	165	168	172	176	179	183	186	190
793	101.194	197	201	204	208	211	215	218	222	225
794	101.229	232	236	239	243	246	250	254	257	261
795	101.265	269	272	276	279	283	287	290	294	297
796	101.300	303	307	310	314	317	321	324	328	332
797	101.335	339	342	346	349	353	356	360	363	367
798	101.371	375	378	382	385	388	392	395	399	402
799	101.406	409	413	416	420	423	427	430	434	437
800	101.441									

2. 压力以 atm(标准大气压)表示

压力① P/atm	水的沸点 t/℃	压力① P/atm	水的沸点 t/℃	压力① P/atm	水的沸点 t/℃
1	100.0	11	183.2	21	213.9
2	119.6	12	187.1	22	216.2
3	132.9	13	190.7	23	218.5
4	142.9	14	194.1	24	220.8
5	151.1	15	197.4	25	222.9
6	158.1	16	200.4	26	225.0
7	164.2	17	203.4	27	227.0
8	169.6	18	206.1		
9	174.5	19	208.8		
10	179.0	20	211.4		

①atm(标准大气压)与 SI 单位的换算因数:1atm=101 325Pa。

三、常用酸、碱、盐溶液的浓度和密度

表 1-61～表 1-70 中各溶液的浓度以两种方式表示:

1.(物质的量)浓度,$c=\dfrac{\text{溶质物质的量}}{\text{溶液的体积}}$,单位 $mol \cdot L^{-1}$;

2. 质量分数，$w=\dfrac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的质量}}$，以%表示。

表 1-61　硝酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 ρ/(g·ml⁻¹)	HNO_3 浓度 w/(%)	HNO_3 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	HNO_3 浓度 w/(%)	HNO_3 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	HNO_3 浓度 w/(%)	HNO_3 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	HNO_3 浓度 w/(%)	HNO_3 浓度 c/(mol·L⁻¹)
1.000	0.3333	0.05231	1.145	24.71	4.489	1.290	46.85	9.590	1.435	75.35	17.16
1.005	1.255	0.2001	1.150	25.48	4.649	1.295	47.63	9.739	1.440	76.71	17.53
1.010	2.164	0.3463	1.155	26.24	4.810	1.300	48.42	9.900	1.445	78.07	17.90
1.015	3.073	0.4950	1.160	27.00	4.970	1.305	49.21	10.19	1.450	79.43	18.28
1.020	3.982	0.6445	1.165	27.76	5.132	1.310	50.00	10.39	1.455	80.88	18.68
1.025	4.883	0.7943	1.170	28.51	5.293	1.315	50.85	10.61	1.460	82.39	19.09
1.030	5.784	0.9454	1.175	29.25	5.455	1.320	51.71	10.83	1.465	83.91	19.51
1.035	6.661	1.094	1.180	30.00	5.618	1.325	52.56	11.05	1.470	85.50	19.95
1.040	7.530	1.243	1.185	30.74	5.780	1.330	53.41	11.27	1.475	87.29	20.43
1.045	8.398	1.393	1.190	31.47	5.943	1.335	54.27	11.49	1.480	89.07	20.92
1.050	9.259	1.453	1.195	32.21	6.107	1.340	55.13	11.72	1.485	91.13	21.48
1.055	10.12	1.694	1.200	32.94	6.273	1.345	56.04	11.96	1.490	93.49	22.11
1.060	10.97	1.845	1.205	33.68	6.440	1.350	56.95	12.20	1.495	95.46	22.65
1.065	11.81	1.997	1.210	34.41	6.607	1.355	57.87	12.44	1.500	96.73	23.02
1.070	12.65	2.148	1.215	35.16	6.778	1.360	58.78	12.68	1.501	96.98	23.10
1.075	13.48	2.301	1.220	35.93	6.956	1.365	59.69	12.93	1.502	97.23	23.18
1.080	14.31	2.453	1.225	36.70	7.135	1.370	60.67	13.19	1.503	97.49	23.25
1.085	15.13	2.605	1.230	37.48	7.315	1.375	61.69	13.46	1.504	97.74	23.33
1.090	15.95	2.759	1.235	38.25	7.497	1.380	62.70	13.73	1.505	97.99	23.40
1.095	16.76	2.913	1.240	39.02	7.679	1.385	63.72	14.01	1.506	98.25	23.48
1.100	17.58	3.068	1.245	39.80	7.863	1.390	64.74	14.29	1.507	98.50	23.56
1.105	18.39	3.224	1.250	40.58	8.049	1.395	65.84	14.57	1.508	98.76	23.63
1.110	19.19	3.381	1.255	41.36	8.237	1.400	66.97	14.88	1.509	99.01	23.71
1.115	20.00	3.539	1.260	42.14	8.426	1.405	68.10	15.18	1.510	99.26	23.79
1.120	20.79	3.696	1.265	42.92	8.616	1.410	69.23	15.49	1.511	99.52	23.86
1.125	21.59	3.854	1.270	43.70	8.808	1.415	70.39	15.81	1.512	99.77	23.94
1.130	22.38	4.012	1.275	44.48	9.001	1.420	71.63	16.14	1.513	100.00	24.01
1.135	23.16	4.171	1.280	45.27	9.195	1.425	72.86	16.47			
1.140	23.94	4.330	1.285	46.06	9.394	1.430	74.09	16.81			

表 1-62　硫酸溶液的浓度和密度(20℃)

密度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	H_2SO_4 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	H_2SO_4 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	H_2SO_4 浓度 c/(mol·L⁻¹)	密度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	H_2SO_4 浓度 c/(mol·L⁻¹)
1.000	0.2609	0.02660	1.040	6.237	0.6613	1.080	11.96	1.317	1.120	17.43	1.990
1.005	0.9855	0.1010	1.045	6.956	0.7411	1.085	12.66	1.401	1.125	18.09	2.075
1.010	1.731	0.1783	1.050	7.704	0.825	1.090	13.36	1.484	1.130	18.76	2.161
1.015	2.485	0.2595	1.055	8.415	0.9054	1.095	14.04	1.567	1.135	19.42	2.247
1.020	3.242	0.3372	1.060	9.129	0.9865	1.100	14.73	1.652	1.140	20.08	2.334
1.025	4.000	0.4180	1.065	9.843	1.066	1.105	15.41	1.735	1.145	20.73	2.420
1.030	4.746	0.4983	1.070	10.56	1.152	1.110	16.08	1.820	1.150	21.38	2.507
1.035	5.493	0.5796	1.075	11.26	1.235	1.115	16.76	1.905	1.155	22.03	2.591

续表

密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	H_2SO_4 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)
1.160	22.67	2.681	1.345	44.72	6.132	1.530	62.91	9.813	1.715	78.93	13.80
1.165	23.31	2.768	1.350	45.26	6.229	1.535	63.36	9.916	1.720	79.37	13.92
1.170	23.95	2.857	1.355	45.80	6.327	1.540	63.81	10.02	1.725	79.81	14.04
1.175	24.58	2.945	1.360	46.33	6.424	1.545	64.26	10.12	1.730	80.25	14.16
1.180	25.21	3.033	1.365	46.86	6.522	1.550	64.71	10.23	1.735	80.70	14.28
1.185	25.84	3.122	1.370	47.39	6.620	1.555	65.15	10.33	1.740	81.16	14.40
1.190	26.47	3.211	1.375	47.92	6.718	1.560	65.59	10.43	1.745	81.62	14.52
1.195	27.10	3.302	1.380	48.45	6.817	1.565	66.03	10.54	1.750	82.09	14.65
1.200	27.72	3.301	1.385	48.97	6.915	1.570	66.47	10.64	1.755	82.57	14.78
1.205	28.33	3.481	1.390	49.48	7.012	1.575	66.91	10.74	1.760	83.06	14.90
1.210	28.95	3.572	1.395	49.99	7.110	1.580	67.35	10.85	1.765	83.57	15.04
1.215	29.57	3.663	1.400	50.50	7.208	1.585	67.79	10.96	1.770	84.08	15.17
1.220	30.18	3.754	1.405	51.61	7.307	1.590	68.23	11.06	1.775	84.61	15.31
1.225	30.79	3.846	1.410	51.52	7.406	1.595	68.66	11.16	1.780	85.16	15.46
1.230	31.40	3.938	1.415	52.02	7.505	1.600	69.09	11.27	1.785	85.74	15.61
1.235	32.01	4.031	1.420	52.51	7.603	1.605	69.53	11.38	1.790	86.35	15.76
1.240	32.61	4.123	1.425	53.01	7.702	1.610	69.96	11.48	1.795	86.99	15.92
1.245	33.22	4.216	1.430	53.50	7.801	1.615	70.39	11.59	1.800	87.69	16.09
1.250	33.82	4.310	1.435	54.00	7.901	1.620	70.82	11.70	1.805	88.43	16.27
1.255	34.42	4.404	1.440	54.49	8.000	1.625	71.25	11.80	1.810	89.23	16.47
1.260	35.01	4.498	1.445	54.97	8.099	1.630	71.67	11.91	1.815	90.12	16.68
1.265	35.60	4.592	1.450	55.45	8.198	1.635	72.09	12.02	1.820	91.11	16.91
1.270	36.19	4.686	1.455	55.93	8.297	1.640	72.52	12.13	1.821	91.33	16.96
1.275	36.78	4.781	1.460	56.41	8.397	1.645	72.95	12.24	1.822	91.56	17.01
1.280	37.36	4.876	1.465	56.89	8.497	1.650	73.37	12.34	1.823	91.78	17.06
1.285	37.95	4.972	1.470	57.36	8.598	1.655	73.80	12.45	1.824	92.00	17.11
1.290	38.53	5.068	1.475	57.84	8.699	1.660	74.22	12.56	1.825	92.25	17.17
1.295	39.10	5.163	1.480	58.31	8.799	1.665	74.64	12.67	1.826	92.51	17.22
1.300	39.68	5.259	1.485	58.78	8.899	1.670	75.07	12.78	1.827	92.77	17.28
1.305	40.25	5.356	1.490	59.24	9.000	1.675	75.49	12.89	1.828	93.03	17.34
1.310	40.82	5.452	1.495	59.70	9.100	1.680	75.92	13.00	1.829	93.33	17.40
1.315	41.39	5.549	1.500	60.17	9.202	1.685	76.34	13.12	1.830	93.64	17.47
1.320	41.95	5.646	1.505	60.62	9.303	1.690	76.77	13.23	1.831	93.94	17.54
1.325	42.51	5.743	1.510	61.08	9.404	1.695	77.20	13.34	1.832	94.32	17.62
1.330	43.07	5.840	1.515	61.54	9.506	1.700	77.63	13.46	1.833	94.72	17.70
1.335	43.62	5.938	1.520	62.00	9.608	1.705	78.06	13.57	1.834	95.12	17.79
1.340	44.17	6.035	1.525	62.45	9.711	1.710	78.49	13.69	1.835	95.72	17.91

表 1-63 盐酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	HCl 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	HCl 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	HCl 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)	密 度 ρ/(g·ml⁻¹)	HCl 浓度 w/(%)	c/(mol·L⁻¹)
1.000	0.3600	0.09872	1.020	4.388	1.227	1.040	8.490	2.421	1.060	12.51	3.638
1.005	1.360	0.3748	1.025	5.408	1.520	1.045	9.510	2.725	1.065	13.50	3.944
1.010	2.364	0.6547	1.030	6.433	1.817	1.050	10.52	3.029	1.070	14.495	4.253
1.015	3.374	0.9391	1.035	7.464	2.118	1.055	11.52	3.333	1.075	15.485	4.565

续表

密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	HCl 浓度 $w/(\%)$	HCl 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	HCl 浓度 $w/(\%)$	HCl 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	HCl 浓度 $w/(\%)$	HCl 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	HCl 浓度 $w/(\%)$	HCl 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$
1.080	16.47	4.878	1.115	23.29	7.122	1.145	29.17	9.159	1.175	35.20	11.34
1.085	17.45	5.192	1.120	24.25	7.449	1.150	30.14	9.505	1.180	36.23	11.73
1.090	18.43	5.5095	1.125	25.22	7.782	1.155	31.14	9.863	1.185	37.27	12.11
1.095	19.41	5.829	1.130	26.20	8.118	1.160	32.14	10.225	1.190	38.32	12.50
1.100	20.39	6.150	1.135	27.18	8.459	1.165	33.16	10.595	1.195	39.37	12.90
1.105	21.36	6.472	1.140	28.18	8.809	1.170	34.18	10.97	1.198	40.00	13.14
1.110	22.33	6.796									

盐 酸 恒 沸 点 浓 度

在蒸馏时大气压力，千帕(kPa)	103.99	102.66	101.33	99.992	98.659	97.325
在蒸馏液中盐酸浓度(对真空)$w/(\%)$	20.173	20.197	20.221	20.245	20.269	20.293
含有 1molHCl 的蒸馏溶液质量(在空气中)m/g	180.621	180.407	180.193	179.979	179.766	179.551

表 1-64 磷酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度 $w/(\%)$	H_3PO_4 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度 $w/(\%)$	H_3PO_4 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度 $w/(\%)$	H_3PO_4 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度 $w/(\%)$	H_3PO_4 浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$
1.000	0.296	0.030	1.140	24.07	2.800	1.280	43.37	5.655	1.420	59.74	8.658
1.005	1.222	0.1253	1.145	24.82	2.900	1.285	44.00	5.771	1.425	60.29	8.766
1.010	2.148	0.2214	1.150	25.57	3.000	1.290	44.63	5.875	1.430	60.84	8.878
1.015	3.074	0.3184	1.155	26.31	3.101	1.295	45.26	5.981	1.435	61.38	8.989
1.020	4.000	0.4164	1.160	27.05	3.203	1.300	45.88	6.087	1.440	61.92	9.099
1.025	4.926	0.5152	1.165	27.78	3.304	1.305	46.49	6.191	1.445	62.45	9.208
1.030	5.836	0.6134	1.170	28.51	3.404	1.310	47.10	6.296	1.450	62.98	9.322
1.035	6.745	0.7124	1.175	29.23	3.505	1.315	47.70	6.400	1.455	63.51	9.432
1.040	7.643	0.8110	1.180	29.94	3.606	1.320	48.30	6.506	1.460	64.03	9.543
1.045	8.536	0.911	1.185	30.65	3.707	1.325	48.89	6.610	1.465	64.55	9.651
1.050	9.429	1.010	1.190	31.35	3.806	1.330	49.48	6.716	1.470	65.07	9.761
1.055	10.32	1.111	1.195	32.05	3.908	1.335	50.07	6.822	1.475	65.58	9.870
1.060	11.19	1.210	1.200	32.75	4.010	1.340	50.66	6.928	1.480	66.09	9.982
1.065	12.06	1.311	1.205	33.44	4.112	1.345	51.25	7.034	1.485	66.60	10.09
1.070	12.92	1.411	1.210	34.13	4.215	1.350	51.84	7.141	1.490	67.10	10.21
1.075	13.76	1.510	1.215	34.82	4.317	1.355	52.42	7.247	1.495	67.60	10.31
1.080	14.60	1.609	1.220	35.50	4.420	1.360	53.00	7.355	1.500	68.10	10.42
1.085	15.43	1.708	1.225	36.17	4.522	1.365	53.57	7.463	1.505	68.60	10.53
1.090	16.26	1.807	1.230	36.84	4.624	1.370	54.14	7.570	1.510	69.09	10.64
1.095	17.07	1.906	1.235	37.51	4.727	1.375	54.71	7.678	1.515	69.58	10.76
1.100	17.87	2.005	1.240	38.17	4.829	1.380	55.28	7.784	1.520	70.07	10.86
1.105	18.68	2.105	1.245	38.83	4.932	1.385	55.85	7.894	1.525	70.56	10.98
1.110	19.46	2.204	1.250	39.49	5.036	1.390	56.42	8.004	1.530	71.04	11.09
1.115	20.25	2.304	1.255	40.14	5.140	1.395	56.98	8.112	1.535	71.52	11.20
1.120	21.03	2.403	1.260	40.79	5.245	1.400	57.54	8.221	1.540	72.00	11.32
1.125	21.80	2.502	1.265	41.44	5.350	1.405	58.09	8.328	1.545	72.48	11.42
1.130	22.56	2.602	1.270	42.09	5.454	1.410	58.64	8.437	1.550	72.95	11.53
1.135	23.32	2.702	1.275	42.73	5.559	1.415	59.19	8.547	1.555	73.42	11.65

续表

密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	H_3PO_4 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$
1.560	73.89	11.76	1.640	81.20	13.59	1.720	88.06	15.45	1.800	94.57	17.37
1.565	74.36	11.88	1.645	81.64	13.71	1.725	88.48	15.57	1.805	94.97	17.50
1.570	74.83	11.99	1.650	82.08	13.82	1.730	88.90	15.70	1.810	95.37	17.62
1.575	75.30	12.11	1.655	82.52	13.94	1.735	89.31	15.81	1.815	95.76	17.74
1.580	75.76	12.22	1.660	82.96	14.06	1.740	89.72	15.93	1.820	96.15	17.85
1.585	76.22	12.33	1.665	83.39	14.17	1.745	90.13	16.04	1.825	96.54	17.98
1.590	76.68	12.45	1.670	83.82	14.29	1.750	90.54	16.16	1.830	96.93	18.10
1.595	77.14	12.56	1.675	84.25	14.40	1.755	90.95	16.29	1.835	97.32	18.23
1.600	77.60	12.67	1.680	84.68	14.52	1.760	91.36	16.41	1.840	97.71	18.34
1.605	78.05	12.78	1.685	85.11	14.63	1.765	91.77	16.53	1.845	98.10	18.47
1.610	78.50	12.90	1.690	85.54	14.75	1.770	92.17	16.65	1.850	98.48	18.60
1.615	78.95	13.01	1.695	85.96	14.87	1.775	92.57	16.77	1.855	98.86	18.72
1.620	79.40	13.12	1.700	86.38	14.98	1.780	92.97	16.89	1.860	99.24	18.84
1.625	79.85	13.24	1.705	86.80	15.10	1.785	93.37	17.00	1.865	99.62	18.96
1.630	80.30	13.36	1.710	87.22	15.22	1.790	93.77	17.13	1.870	100.00	19.08
1.635	80.75	13.48	1.715	87.64	15.33	1.795	94.17	17.25			

表 1-65　高氯酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$HClO_4$ 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$HClO_4$ 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$HClO_4$ 浓度		密 度 $\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$HClO_4$ 浓度	
	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$		$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$
1.005	1.00	0.1004	1.130	20.26	2.279	1.255	35.49	4.433	1.380	47.49	6.523
1.010	1.90	0.1910	1.135	20.95	2.367	1.260	36.03	4.519	1.385	47.93	6.608
1.015	2.77	0.2799	1.140	21.64	2.456	1.265	36.56	4.604	1.390	48.37	6.692
1.020	3.61	0.3665	1.145	22.32	2.544	1.270	37.08	4.687	1.395	48.80	6.776
1.025	4.43	0.4520	1.150	22.99	2.632	1.275	37.60	4.772	1.400	49.23	6.860
1.030	5.25	0.5383	1.155	23.65	2.719	1.280	38.10	4.854	1.405	49.68	6.948
1.035	6.07	0.6253	1.160	24.30	2.806	1.285	38.60	4.937	1.410	50.10	7.032
1.040	6.88	0.7122	1.165	24.94	2.892	1.290	39.10	5.021	1.415	50.51	7.114
1.045	7.68	0.7989	1.170	25.57	2.978	1.295	39.60	5.105	1.420	50.90	7.196
1.050	8.48	0.8863	1.175	26.20	3.064	1.300	40.10	5.189	1.425	51.31	7.278
1.055	9.28	0.9745	1.180	26.82	3.150	1.305	40.59	5.273	1.430	51.71	7.360
1.060	10.06	1.061	1.185	27.44	3.237	1.310	41.08	5.357	1.435	52.11	7.443
1.065	10.83	1.148	1.190	28.05	3.323	1.315	41.56	5.440	1.440	52.51	7.527
1.070	11.58	1.233	1.195	28.66	3.409	1.320	42.02	5.521	1.445	52.89	7.607
1.075	12.33	1.319	1.200	29.26	3.495	1.325	42.49	5.604	1.450	53.27	7.689
1.080	13.08	1.406	1.205	29.86	3.582	1.330	42.97	5.689	1.455	53.65	7.770
1.085	13.83	1.494	1.210	30.45	3.667	1.335	43.43	5.771	1.460	54.03	7.852
1.090	14.56	1.580	1.215	31.04	3.754	1.340	43.89	5.854	1.465	54.41	7.934
1.095	15.28	1.665	1.220	31.61	3.839	1.345	44.35	5.937	1.470	54.79	8.017
1.100	16.00	1.752	1.225	31.18	3.924	1.350	44.81	6.021	1.475	55.17	8.100
1.105	16.72	1.839	1.230	32.74	4.008	1.355	45.26	6.104	1.480	55.55	8.183
1.110	17.45	1.928	1.235	33.29	4.092	1.360	45.71	6.188	1.485	55.93	8.267
1.115	18.16	2.015	1.240	33.85	4.178	1.365	46.16	6.272	1.490	56.31	8.352
1.120	18.88	2.105	1.245	34.40	4.263	1.370	46.61	6.356	1.495	56.69	8.436
1.125	19.57	2.191	1.250	34.95	4.349	1.375	47.05	6.439	1.500	57.06	8.519

续表

密 度	$HClO_4$ 浓度		密 度	$HClO_4$ 浓度		密 度	$HClO_4$ 浓度		密 度	$HClO_4$ 浓度	
$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$
1.505	57.44	8.605	1.550	60.78	9.377	1.595	64.12	10.18	1.640	67.51	11.02
1.510	57.81	8.689	1.555	61.15	9.465	1.600	64.50	10.27	1.645	67.89	11.12
1.515	58.17	8.772	1.560	61.52	9.553	1.605	64.88	10.37	1.650	68.26	11.21
1.520	58.54	8.857	1.565	61.89	9.641	1.610	65.26	10.46	1.655	68.64	11.31
1.525	58.91	8.942	1.570	62.26	9.730	1.615	65.63	10.55	1.660	69.02	11.40
1.530	59.28	9.028	1.575	62.63	9.819	1.620	66.01	10.64	1.665	69.40	11.50
1.535	59.66	9.116	1.580	63.00	9.908	1.625	66.39	10.74	1.670	69.77	11.60
1.540	60.04	9.203	1.585	63.37	9.998	1.630	66.76	10.83	1.675	70.15	11.70
1.545	60.41	9.290	1.590	63.74	10.09	1.635	67.13	10.93			

表 1-66 乙酸溶液的浓度和密度(20℃)

密 度	CH_3COOH 浓度		密 度	CH_3COOH 浓度		密 度	CH_3COOH 浓度		密 度	CH_3COOH 浓度	
$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$
1.000	1.20	0.200	1.025	19.2	3.27	1.050	40.2	7.03	1.065	91.2	16.2
1.005	4.64	0.777	1.030	23.1	3.96	1.055	46.9	8.24	1.060	95.4	16.8
1.010	8.14	1.37	1.035	27.2	4.68	1.060	53.4	9.43	1.055	98.0	17.2
1.015	11.7	1.98	1.040	31.6	5.46	1.065	61.4	10.9	1.050	99.9	17.5
1.020	15.4	2.61	1.045	36.2	6.30	1.070	77—79	13.7—14.1			

表 1-67 氢氧化钾溶液的浓度和密度(20℃)

密 度	KOH 浓度		密 度	KOH 浓度		密 度	KOH 浓度		密 度	KOH 浓度	
$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$	$\rho/(g\cdot ml^{-1})$	$w/(\%)$	$c/(mol\cdot L^{-1})$
1.000	0.197	0.0351	1.095	10.49	2.05	1.190	20.37	4.32	1.285	29.73	6.81
1.005	0.743	0.133	1.100	11.03	2.16	1.195	20.88	4.45	1.290	30.21	6.95
1.010	1.295	0.233	1.105	11.56	2.28	1.200	21.38	4.57	1.295	30.68	7.08
1.015	1.84	0.333	1.110	12.08	2.39	1.205	21.88	4.70	1.300	31.15	7.22
1.020	2.38	0.4335	1.115	12.61	2.51	1.210	22.38	4.83	1.305	31.62	7.36
1.025	2.93	0.536	1.120	13.14	2.62	1.215	22.88	4.955	1.310	32.09	7.49
1.030	3.48	0.6395	1.125	13.66	2.74	1.220	23.38	5.08	1.315	32.56	7.63
1.035	4.03	0.744	1.130	14.19	2.86	1.225	23.87	5.21	1.320	33.03	7.77
1.040	4.58	0.848	1.135	14.705	2.975	1.230	24.37	5.34	1.325	33.50	7.91
1.045	5.12	0.954	1.140	15.22	3.09	1.235	24.86	5.47	1.330	33.97	8.05
1.050	5.66	1.06	1.145	15.74	3.21	1.240	25.36	5.60	1.335	34.43	8.19
1.055	6.20	1.17	1.150	16.26	3.33	1.245	25.85	5.74	1.340	34.90	8.335
1.060	6.74	1.27	1.155	16.78	3.45	1.250	26.34	5.87	1.345	35.36	8.48
1.065	7.28	1.38	1.160	17.29	3.58	1.255	26.83	6.00	1.350	35.82	8.62
1.070	7.82	1.49	1.165	17.81	3.70	1.260	27.32	6.135	1.355	36.28	8.76
1.075	8.36	1.60	1.170	18.32	3.82	1.265	27.80	6.27	1.360	36.735	8.905
1.080	8.89	1.71	1.175	18.84	3.945	1.270	28.29	6.40	1.365	37.19	9.05
1.085	9.43	1.82	1.180	19.35	4.07	1.275	28.77	6.54	1.370	37.65	9.19
1.090	9.96	1.94	1.185	19.86	4.195	1.280	29.25	6.67	1.375	38.105	9.34

续表

密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	KOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	KOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	KOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	KOH浓度	
	w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)
1.380	38.56	9.48	1.420	42.155	10.67	1.460	45.66	11.88	1.500	49.10	13.13
1.385	39.01	9.63	1.425	42.60	10.82	1.465	46.095	12.04	1.505	49.53	13.29
1.390	39.46	9.78	1.430	43.04	10.97	1.470	46.53	12.19	1.510	49.55	13.45
1.395	39.92	9.93	1.435	43.48	11.12	1.475	46.96	12.35	1.515	50.38	13.60
1.400	40.37	10.07	1.440	43.92	11.28	1.480	47.39	12.50	1.520	50.80	13.76
1.405	40.82	10.22	1.445	44.36	11.42	1.485	47.82	12.66	1.525	51.22	13.92
1.410	41.26	10.37	1.450	44.79	11.58	1.490	48.25	12.82	1.530	51.64	14.08
1.415	41.71	10.52	1.455	45.23	11.73	1.495	48.675	12.97	1.535	52.05	14.24

表 1-68　氢氧化钠溶液的浓度和密度(20℃)

密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	NaOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	NaOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	NaOH浓度		密　度 ρ/(g·ml⁻¹)	NaOH浓度	
	w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)		w/(%)	c/(mol·L⁻¹)
1.000	0.159	0.0398	1.135	12.37	3.510	1.270	24.645	7.824	1.405	37.49	13.17
1.005	0.602	0.151	1.140	12.83	3.655	1.275	25.10	8.000	1.410	37.99	13.39
1.010	1.045	0.264	1.145	13.28	3.801	1.280	25.56	8.178	1.415	38.49	13.61
1.015	1.49	0.378	1.150	13.73	3.947	1.285	26.02	8.357	1.420	38.99	13.84
1.020	1.94	0.494	1.155	14.18	4.095	1.290	26.48	8.539	1.425	39.495	14.07
1.025	2.39	0.611	1.160	14.64	4.244	1.295	26.94	8.722	1.430	40.00	14.30
1.030	2.84	0.731	1.165	15.09	4.395	1.300	27.41	8.906	1.435	40.515	14.53
1.035	3.29	0.851	1.170	15.54	4.545	1.305	27.87	9.092	1.440	41.03	14.77
1.040	3.745	0.971	1.175	15.99	4.697	1.310	28.33	9.278	1.445	41.55	15.01
1.045	4.20	1.097	1.180	16.44	4.850	1.315	28.80	9.466	1.450	42.07	15.25
1.050	4.655	1.222	1.185	16.89	5.004	1.320	29.26	9.656	1.455	42.59	15.49
1.055	5.11	1.347	1.190	17.345	5.160	1.325	29.73	9.847	1.460	43.12	15.74
1.060	5.56	1.474	1.195	17.80	5.317	1.330	30.20	10.04	1.465	43.64	15.98
1.065	6.02	1.602	1.200	18.255	5.476	1.335	30.67	10.23	1.470	44.17	16.23
1.070	6.47	1.731	1.205	18.71	5.636	1.340	31.14	10.43	1.475	44.695	16.48
1.075	6.93	1.862	1.210	19.16	5.796	1.345	31.62	10.63	1.480	45.22	16.73
1.080	7.38	1.992	1.215	19.62	5.958	1.350	32.10	10.83	1.485	45.75	16.98
1.085	7.83	2.123	1.220	20.07	6.122	1.355	32.58	11.03	1.490	46.27	17.23
1.090	8.28	2.257	1.225	20.53	6.286	1.360	33.06	11.24	1.495	46.80	17.49
1.095	8.74	2.391	1.230	20.98	6.451	1.365	33.54	11.45	1.500	47.33	17.75
1.100	9.19	2.527	1.235	21.44	6.619	1.370	34.03	11.65	1.505	47.85	18.00
1.105	9.645	2.664	1.240	21.90	6.788	1.375	34.52	11.86	1.510	48.38	18.26
1.110	10.10	2.802	1.245	22.36	6.958	1.380	35.01	12.08	1.515	48.905	18.52
1.115	10.555	2.942	1.250	22.82	7.129	1.385	35.505	12.29	1.520	49.44	18.78
1.120	11.01	3.082	1.255	23.275	7.302	1.390	36.00	12.51	1.525	49.97	19.05
1.125	11.46	3.224	1.260	23.73	7.475	1.395	36.495	12.73	1.530	50.50	19.31
1.130	11.92	3.367	1.265	24.19	7.650	1.400	36.99	12.95			

表 1-69　氨水的浓度和密度(20℃)

密　度 ρ/(g·ml^{-1})	NH_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	NH_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	NH_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	NH_3 浓度	
	w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})
0.998	0.0465	0.0273	0.968	7.26	4.12	0.938	15.47	8.52	0.908	24.68	13.16
0.996	0.512	0.299	0.966	7.77	4.41	0.936	16.06	8.83	0.906	25.33	13.48
0.994	0.977	0.570	0.964	8.29	4.69	0.934	16.65	9.13	0.904	26.00	13.80
0.992	1.43	0.834	0.962	8.82	4.98	0.932	17.24	9.44	0.902	26.67	14.12
0.990	1.89	1.10	0.960	9.34	5.27	0.930	17.85	9.75	0.900	27.33	14.44
0.988	2.35	1.365	0.958	9.87	5.55	0.928	18.45	10.06	0.898	28.00	14.76
0.986	2.82	1.635	0.956	10.405	5.84	0.926	19.06	10.37	0.896	28.67	15.08
0.984	3.30	1.91	0.954	10.95	6.13	0.924	19.67	10.67	0.894	29.33	15.40
0.982	3.78	2.18	0.952	11.49	6.42	0.922	20.27	10.97	0.892	30.00	15.71
0.980	4.27	2.46	0.950	12.03	6.71	0.920	20.88	11.28	0.890	30.658	16.04
0.978	4.76	2.73	0.948	12.58	7.00	0.918	21.50	11.59	0.888	31.37	16.36
0.976	5.25	3.01	0.946	13.14	7.29	0.916	22.125	11.90	0.886	32.09	16.69
0.974	5.75	3.29	0.944	13.71	7.60	0.914	22.75	12.21	0.884	32.84	17.05
0.972	6.25	3.57	0.942	14.29	7.91	0.912	23.39	12.52	0.882	33.595	17.40
0.970	6.75	3.84	0.940	14.88	8.21	0.910	24.03	12.84	0.880	34.35	17.75

表 1-70　碳酸钠溶液的浓度和密度(20℃)

密　度 ρ/(g·ml^{-1})	Na_2CO_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	Na_2CO_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	Na_2CO_3 浓度		密　度 ρ/(g·ml^{-1})	Na_2CO_3 浓度	
	w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})		w/(%)	c/(mol·L^{-1})
1.000	0.19	0.018	1.050	4.98	0.493	1.100	9.75	1.012	1.150	14.35	1.557
1.005	0.67	0.0635	1.055	5.47	0.544	1.105	10.22	1.065	1.155	14.75	1.607
1.010	1.14	0.109	1.060	5.95	0.595	1.110	10.68	1.118	1.160	15.20	1.663
1.015	1.62	0.155	1.065	6.43	0.646	1.115	11.14	1.172	1.165	15.60	1.714
1.020	2.10	0.202	1.070	6.90	0.696	1.120	11.60	1.226	1.170	16.03	1.769
1.025	2.57	0.248	1.075	7.38	0.748	1.125	12.05	1.279	1.175	16.45	1.823
1.030	3.05	0.296	1.080	7.85	0.800	1.130	12.52	1.335	1.180	16.87	1.878
1.035	3.54	0.346	1.085	8.33	0.853	1.135	13.00	1.392	1.185	17.30	1.934
1.040	4.03	0.395	1.090	8.80	0.905	1.140	13.45	1.446	1.190	17.70	1.987
1.045	4.50	0.444	1.095	9.27	0.958	1.145	13.90	1.501			

表 1-71　某些商品高纯试剂的浓度和密度

高纯试剂	规格	相对密度	w/(%)	备　注	高纯试剂	规格	相对密度	w/(%)	备　注
盐　　酸	超纯	1.174～1.189	35.0～38.0	上海试剂一厂产品	磷　　酸	特纯	1.689	85	上海试剂一厂产品
氢 氟 酸	超纯	1.130	40	同上	冰 醋 酸	特纯	1.05	99.5	同上
高 氯 酸	特纯	1.67	70	同上	乙酸36%	特纯	1.045	36	同上
硝　　酸	超纯	1.391～1.420	65～68	同上	氢氧化铵	特纯	0.905～0.89	27～30	同上
硫　　酸	超纯	1.830～1.835	96	同上					

表 1-72 波美浓度与相对密度对照表

用波美比重计浸入溶液中所测得的数值表示溶液的浓度叫波美浓度，以°Bé 表示。波美比重计有重表和轻表两种，液体相对密度大于 1 的用重表；小于 1 的用轻表。刻度的基准是以 4℃水的相对密度 1.000 为 0 °Bé。例如 1.8429（d_{15}^{15}）的硫酸为 66°Bé，测定温度是 15℃。

波美读数值与相对密度的关系：

$$d=f(n);\qquad n\text{ 指波美表读数}$$

比水重的液体：$d=\dfrac{m}{m-n}$；或 $n=m-\dfrac{m}{d_{15}^{15}}$

比水轻的液体：$d=\dfrac{m}{m+n}$；或 $n=\dfrac{m}{d_{15}^{15}}-m$

式中 $m=145$，为 60°/60°F（15.56℃）美国标度

$m=144$，荷兰所采用的旧标度

$m=146.3$，15℃，Gerlach 标度

$m=144.3$，15℃，德国通常采用的示性标度

1. 液体相对密度小于 1 时波美浓度与相对密度对照表

相对密度	波美浓度 n/°Bé									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.60	96.04	92.09	88.28	84.56	81.07	77.55	74.19	71.24	67.76	64.68
0.70	61.70	58.80	55.99	53.24	50.56	47.97	45.48	42.97	40.58	38.23
0.80	35.95	33.72	31.55	29.43	27.37	25.35	23.38	21.49	19.57	17.72
0.90	15.93	14.16	12.44	10.76	9.10	7.49	5.91	4.37	2.84	1.35
1.00	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2. 液体相对密度大于 1 时波美浓度与相对密度对照表

相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé	相对密度	波美浓度 n/°Bé
1.000	0	1.110	14.2	1.220	26.0	1.330	35.8	1.440	44.1	1.550	51.2	1.660	57.4	1.770	62.8
005	0.7	·115	14.9	225	26.4	335	36.2	445	44.4	555	51.5	665	57.7	775	63.0
010	1.4	120	15.4	230	26.9	340	36.6	450	44.8	560	51.8	670	57.9	780	63.2
015	2.1	125	16.0	235	27.4	345	37.0	455	45.1	565	52.1	675	58.2	785	63.5
020	2.7	130	16.5	240	27.9	350	37.4	460	45.4	570	52.4	680	58.4	790	63.7
025	3.4	135	17.1	245	28.4	355	37.8	465	45.8	575	52.7	685	58.7	795	64.0
030	4.1	140	17.7	250	28.8	360	38.2	470	46.1	580	53.0	690	58.9	800	64.2
035	4.7	145	18.3	255	29.3	365	38.6	475	46.4	585	53.3	695	59.2	805	64.4
040	5.4	150	18.8	260	29.7	370	39.0	480	46.8	590	53.6	700	59.5	810	64.6
045	6.0	155	19.3	265	30.2	375	39.4	485	47.1	595	53.9	705	59.7	815	64.8
050	6.7	160	19.8	270	30.6	380	39.8	490	47.4	600	54.1	710	60.0	820	65.0
055	7.4	165	20.3	275	31.1	385	40.1	495	47.8	605	54.4	715	60.2	825	65.2
060	8.0	170	20.9	280	31.5	390	40.5	500	48.1	610	54.7	720	60.4	830	65.5
065	8.7	175	21.4	285	32.0	395	40.8	505	48.4	615	55.0	725	60.6	835	65.7
070	9.4	180	22.0	290	32.4	400	41.2	510	48.7	620	55.2	730	60.9	840	65.9
075	10.0	185	22.5	295	32.8	405	41.6	515	49.0	625	55.5	735	61.1	845	66.1
080	10.6	190	23.0	300	33.3	410	42.0	520	49.4	630	55.8	740	61.4	850	66.3
085	11.2	195	23.5	305	33.7	415	42.3	525	49.7	635	56.0	745	61.6	855	66.5
090	11.9	200	24.0	310	34.2	420	42.7	530	50.0	640	56.3	750	61.8	860	66.7
095	12.4	205	24.5	315	34.6	425	43.1	535	50.3	645	56.6	755	62.1	865	67.0
100	13.0	210	25.0	320	35.0	430	43.4	540	50.6	650	56.9	760	62.3		
105	13.6	215	25.5	325	35.4	435	43.8	545	50.9	655	57.1	765	62.5		

第六节　生成常数和离解常数

一、难溶化合物的溶度积

表 1-73　难溶化合物的溶度积

表中所列温度在18～25℃的一些难溶化合物的溶度积常数，是按化学式的顺序排列。表中数据除第一版中所列者外，还引用了如下文献的参数：

1. 董维宪编著．化学分析基础．北京：高等教育出版社，1982.
2. 张孙玮，汤福隆，张泰等编．现代化学试剂手册．北京：化学工业出版社，1987.

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$Ac(OH)_3$	1.0×10^{-15}	15.0	$AgReO_4$	8.0×10^{-5}	4.10
Ag_3AsO_4	1.0×10^{-22}	22.0	Ag_2S	6.3×10^{-50}	49.2
$AgBr$	5.2×10^{-13}	12.28	$1/2Ag_2S+H^+=Ag^++1/2H_2S$	2×10^{-14}	13.8
$AgBr+Br^-=AgBr_2^-$	1.0×10^{-5}	5.0	$AgSCN$	1.0×10^{-12}	12.00
$AgBr+2Br^-=AgBr_3^{2-}$	4.5×10^{-5}	4.35	Ag_2SO_3	1.5×10^{-14}	13.82
$AgBr+3Br^-=AgBr_4^{3-}$	2.5×10^{-4}	3.60	Ag_2SO_4	1.4×10^{-5}	4.84
$AgBrO_3$	5.3×10^{-5}	4.28	$AgSeCN$	4×10^{-16}	15.40
$AgCN$	1.2×10^{-16}	15.92	Ag_2SeO_3	1.0×10^{-15}	15.00
$AgOCN$	2.3×10^{-7}	6.64	Ag_2SeO_4	5.7×10^{-8}	7.25
$2AgCN=Ag^++Ag(CN)_2^-$	5×10^{-12}	11.3	$AgVO_3$	5×10^{-7}	6.3
Ag_2CN_2	7.2×10^{-11}	10.14	Ag_2HVO_4	2×10^{-14}	13.7
Ag_2CO_3	8.1×10^{-12}	11.09	Ag_3HVO_4OH	1×10^{-24}	24.0
$AgC_2H_3O_2$	4.4×10^{-3}	2.36	Ag_2WO_4	5.5×10^{-12}	11.26
$Ag_2C_2O_4$	3.4×10^{-11}	10.46	$AlAsO_4$	1.6×10^{-16}	15.8
$Ag_3[Co(NO_2)_6]$	8.5×10^{-21}	20.07	$Al(OH)_3$：无定形	4.57×10^{-33}	32.34
$AgCl$	1.8×10^{-10}	9.75	α	3.55×10^{-34}	33.45
$AgCl+Cl^-=AgCl_2^-$	2.0×10^{-5}	4.70	Bohmite	9.55×10^{-35}	34.02
$AgCl+2Cl^-=AgCl_3^{2-}$	2.0×10^{-5}	4.70	Bayerite	2.75×10^{-36}	35.56
$AgCl+3Cl^-=AgCl_4^{3-}$	3.5×10^{-5}	4.46	水铝矿	5.01×10^{-37}	36.30
$AgClCO_2$	2.0×10^{-4}	3.7	Al-铜铁试剂	2.3×10^{-16}	18.64
Ag_2CrO_4	1.1×10^{-12}	11.95	$Al(OH)_3+H_2O=Al(OH)_4^-+H^+$	1×10^{-13}	13.0
$Ag_2Cr_2O_7$	2.0×10^{-7}	6.70	$AlPO_4$	6.3×10^{-19}	18.24
Ag－DDTC	2.51×10^{-20}	19.6	Al_2S_3	2×10^{-7}	6.7
$Ag_4[Fe(CN)_6]$	1.58×10^{-41}	40.8	Al_2Se_3	4×10^{-25}	24.4
$Ag[Ag(CN)_2]$	5.0×10^{-12}	11.3	$AlL_3$8-羟基喹啉铝	1.00×10^{-29}	29
$AgCNO$	2.29×10^{-7}	6.64	$Am(OH)_3$	2.7×10^{-20}	19.57
Ag-喹啉-2-甲酸	1.3×10^{-18}	17.9	$Am(OH)_4$	1×10^{-66}	56.0
AgI	8.3×10^{-17}	16.08	$1/2As_2O_3+3/2H_2O=As^{3+}+3OH^-$	2.0×10^{-1}	0.69
$AgI+I^-=AgI_2^-$	4.0×10^{-6}	5.40			
$AgI+2I^-=AgI_3^{2-}$	2.5×10^{-3}	2.60	$As_2S_3+4H_2O=2HAsO_2+3H_2S$	2.1×10^{-22}	21.68
$AgI+3I^-=AgI_4^{3-}$	1.1×10^{-2}	1.96	$Au_2(C_2O_4)_3$	1.0×10^{-10}	10.0
$AgIO_3$	3.0×10^{-8}	7.52	$Au(OH)_3$	5.5×10^{-46}	45.26
Ag_2MoO_4	2.8×10^{-12}	11.55	$AuCl$	2.0×10^{-13}	12.7
AgN_3	2.8×10^{-9}	8.54	AuI	1.6×10^{-23}	22.8
$AgNO_2$	6.0×10^{-4}	3.22	$AuCl_3$	3.2×10^{-25}	24.5
$1/2Ag_2O+1/2H_2O=Ag^++OH^-$	2.6×10^{-8}	7.59	AuI_3	1.0×10^{-46}	46.0
$1/2Ag_2O+1/2H_2O+OH^-=Ag(OH)_2^-$	2.0×10^{-4}	3.71	$K[Au(SCN)_4]$	6×10^{-5}	4.2
			$Na[Au(SCN)_4]$	4×10^{-4}	3.4
$AgOH$	2.0×10^{-8}	7.71	$Ba_3(AsO_4)_2$	8.0×10^{-51}	50.11
Ag_3PO_4	1.4×10^{-16}	15.84	$Ba(BrO_3)_2$	3.2×10^{-6}	5.50

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$BaCO_3$	5.1×10^{-9}	8.29
$BaCO_3+CO_2+H_2O=Ba^{2+}+2HCO_3^-$	4.5×10^{-5}	4.35
BaC_2O_4	1.6×10^{-7}	6.79
$BaC_2O_4\cdot H_2O$	2.3×10^{-8}	7.64
$BaCrO_4$	1.2×10^{-10}	9.93
BaF_2	1.04×10^{-6}	5.98
$Ba(IO_3)_2$	4.01×10^{-9}	8.40
$Ba(IO_3)_2\cdot 2H_2O$	1.5×10^{-9}	8.82
$BaHPO_4$	3.2×10^{-7}	6.5
$Ba_3(PO_4)_2$	3.4×10^{-23}	22.44
$Ba_2[Fe(CN)_6]\cdot 6H_2O$	3.2×10^{-8}	7.5
$Ba_2P_2O_7$	3.2×10^{-11}	10.5
$Ba(OH)_2\cdot 8H_2O$	2.55×10^{-4}	3.59
$BaMnO_4$	2.5×10^{-10}	9.61
$Ba(NO_3)_2$	4.5×10^{-3}	2.35
$Ba(NbO_3)_2$	3.2×10^{-17}	16.50
$Ba(ReO_4)_2$	5.2×10^{-2}	1.28
BaL_2 8-羟基喹啉钡	5.0×10^{-9}	8.3
$BaSO_4$	1.1×10^{-10}	9.96
$BaSeO_4$	3.5×10^{-8}	7.46
BaS_2O_3	1.6×10^{-5}	4.79
$BaSO_3$	8×10^{-5}	6.1
$BeMoO_4$	3.20×10^{-2}	1.5
$Be(NbO_3)_2$	1.2×10^{-16}	15.92
$Be(OH)_2$(无定形)	1.6×10^{-22}	21.8
$Be(OH)_2+OH^-=HBeO_2^-+H_2O$	3.2×10^{-3}	2.50
$BiAsO_4$	4.4×10^{-10}	9.36
$Bi_2(C_2O_4)_3$	3.98×10^{-36}	35.4
Bi-(铜铁试剂)$_3$	6.0×10^{-28}	27.22
$BiOBr+2H^+=Bi^{3+}+Br^-+H_2O$	3.0×10^{-7}	6.52
$BiOCl=BiO^++Cl^-$	7×10^{-9}	8.2
$BiOCl+2H^+=Bi^{3+}+Cl^-+H_2O$	2.1×10^{-7}	6.68
$BiOCl+H_2O=Bi^{3+}+Cl^-+2OH^-$	1.8×10^{-31}	30.75
BiI_3	8.1×10^{-19}	18.09
$BiO(NO_3)$	2.82×10^{-3}	2.55
$BiOOH$	4×10^{-10}	9.4
$1/2Bi_2O_3(\alpha)+3/2H_2O+OH^-=Bi(OH)_4^-$	5.0×10^{-6}	5.30
$Bi(OH)_3$	4×10^{-31}	30.4
$BiPO_4$	1.3×10^{-23}	22.89
$BiO(SCN)$	1.6×10^{-7}	6.80
Bi_2S_3	1×10^{-97}	97.0
$Ca_3(AsO_4)_2$	6.8×10^{-19}	18.17
$CaCO_3$	2.8×10^{-9}	8.54
$CaCO_3+CO_2+H_2O=Ca^{2+}+2HCO_3^-$	5.2×10^{-5}	4.28
$CaC_2O_4\cdot H_2O$	4×10^{-9}	8.4
$CaC_4H_4O_6\cdot 2H_2O$(酒石酸钙)	7.7×10^{-7}	6.11
$CaCrO_4$	7.1×10^{-4}	3.15
CaF_2	2.7×10^{-11}	10.57
CaL_2 8-羟基喹啉钙	2.0×10^{-29}	28.70
$CaMoO_4$	4.17×10^{-8}	7.38
$Ca(IO_3)_2\cdot 6H_2O$	7.1×10^{-7}	6.15
$Ca[Mg(CO_3)_2]$(白云石)	1.0×10^{-11}	11.0
$Ca(NbO_3)_2$	8.7×10^{-18}	17.06
$Ca(OH)_2$	5.5×10^{-6}	5.26
$CaHPO_4$	1×10^{-7}	7.0
$Ca_3(PO_4)_2$	2.0×10^{-29}	28.70
$CaSO_3$	3.09×10^{-7}	6.51
$CaSO_4$	9.1×10^{-6}	5.04
$CaSeC_4$	8.1×10^{-4}	3.09
$CaSeO_3$	8.0×10^{-5}	5.30
$Ca(SiF_6)$	8.1×10^{-4}	3.09
$CaWO_4$	8.7×10^{-9}	8.06
$CaSiO_3$	2.5×10^{-8}	7.60
$Cd_3(AsO_4)_2$	2.2×10^{-33}	32.66
$CdC_2O_4\cdot 3H_2O$	9.1×10^{-8}	7.04
Cd-(DDTC)$_2$	1.0×10^{-22}	22.0
Cd-(喹啉-2-甲酸)$_2$	5.0×10^{-13}	12.3
$[Cd(NH_3)_6](BF_4)_2$	2.0×10^{-6}	5.7
$Cd(BO_2)_2$	2.3×10^{-9}	8.64
CdF_2	6.44×10^{-3}	2.19
$CdCO_3$	5.2×10^{-12}	11.28
$Cd(CN)_2$	1.0×10^{-8}	8.0
CdL_2 邻氨基苯甲酸镉	5.4×10^{-9}	8.27
$Cd_2[Fe(CN)_6]$	3.2×10^{-17}	16.49
$Cd(OH)_2$:新	2.51×10^{-14}	13.6
陈	5.89×10^{-16}	14.23
$Cd_3(PO_4)_2$	2.5×10^{-33}	32.6
$Cd(OH)_2+OH^-=Cd(OH)_3^-$	2×10^{-5}	4.7
CdS	8.0×10^{-27}	26.1
$CdS+2H^+=Cd^{2+}+H_2S$	6×10^{-6}	5.2
$CdSeO_3$	1.3×10^{-9}	8.89
$CdWO_4$	2×10^{-6}	5.7
$Ce_2(C_2O_4)_3\cdot 9H_2O$	3.2×10^{-26}	25.5
$Ce_2(C_4H_4O_4)_3\cdot 9H_2O$	9.7×10^{-20}	19.01
CeF_3	8×10^{-16}	15.1
$Ce(IO_3)_3$	3.2×10^{-10}	9.50
$Ce(IO_3)_4$	5×10^{-17}	16.3
$Ce(OH)_3$	1.6×10^{-20}	19.8
$Ce(OH)_4$	3.98×10^{-51}	50.4
$CePO_4$	1.0×10^{-23}	23.0
Ce_2S_3	6.0×10^{-11}	10.22
$Ce_2(SeO_3)_3$	3.7×10^{-25}	24.43
Ce-酒石酸	1.0×10^{-19}	19.0
$Co_3(AsO_4)_2$	7.6×10^{-29}	28.12
$CoCO_3$	1.4×10^{-13}	12.84
CoC_2O_4	6.3×10^{-8}	7.2
CoL_2 邻氨基苯甲酸钴	2.1×10^{-10}	9.68

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$Co_2[Fe(CN)_6]$	1.8×10^{-15}	14.74
CoL_2 8-羟基喹啉钴	1.6×10^{-25}	24.8
Co-(DDTC)$_2$	8.71×10^{-21}	20.06
Co-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.6×10^{-11}	10.8
$[Co(NH_3)_6](BF_4)_2$	4×10^{-6}	5.4
$Co(OH)_2+OH^-=Co(OH)_3^-$	8×10^{-6}	5.1
$Co(OH)_3$	1.6×10^{-44}	43.8
$Co[Hg(SCN)_4]=Co^{2+}+[Hg(SCN)_4]^{2-}$	1.5×10^{-6}	5.82
$Co(IO_3)_2$	1.0×10^{-4}	4.0
$Co(OH)_2$ 蓝	6.31×10^{-15}	14.2
淡红，新	1.58×10^{-15}	14.8
淡红，陈	2.00×10^{-16}	15.7
$CoHPO_4$	2.0×10^{-7}	6.7
$Co_3(PO_4)_2$	2.0×10^{-35}	34.7
α-CoS	4×10^{-21}	20.4
β-CoS	2×10^{-25}	24.7
$CoSeO_3$	1.6×10^{-7}	6.8
$CrAsO_4$	7.7×10^{-21}	20.11
$Cr(OH)_2$	1.0×10^{-17}	17.0
$Cr(OH)_3$	6.3×10^{-31}	30.2
$[Cr(NH_3)_6](BF_4)_2$	6.2×10^{-5}	4.21
$[Cr(NH_3)_6](ReO_4)_3$	7.7×10^{-12}	11.11
$CrPO_4\cdot4H_2O$ 绿	2.4×10^{-23}	22.62
紫	1.0×10^{-17}	17.0
CrF_3	6.6×10^{-11}	10.18
$CsClO_4$	4×10^{-3}	2.4
$CsBrO_3$	5×10^{-2}	1.7
$CsClO_3$	4×10^{-2}	1.4
$Cs_2(PtCl_6)$	3.2×10^{-8}	7.5
$Cs_3[Co(NO_2)_6]$	5.7×10^{-16}	15.24
$Cs(BF_4)$	5×10^{-5}	4.7
$Cs(PtF_6)$	2.4×10^{-6}	5.62
$Cs(SiF_6)$	1.3×10^{-5}	4.90
$CsIO_4$	4.3×10^{-3}	2.36
$CsMnO_4$	8.2×10^{-5}	4.08
$CsReO_4$	4.0×10^{-4}	3.40
$Cu_3(AsO_4)_2$	7.6×10^{-36}	35.12
$CuB(C_6H_5)_4$	1.0×10^{-8}	8
CuBr	5.3×10^{-9}	8.28
CuCN	3.2×10^{-20}	19.49
$CuCN+CN^-=Cu(CN)_2^-$	1.2×10^{-5}	4.91
$K_2Cu(HCO_3)_4$	3×10^{-12}	11.5
$CuCO_3$	2.34×10^{-10}	9.63
CuC_2O_4	2.3×10^{-8}	7.64
CuCl	1.2×10^{-6}	5.92
$CuCl+Cl^-=CuCl_2^-$	7.6×10^{-2}	1.12
$CuCl+2Cl^-=CuCl_3^{2-}$	3.4×10^{-2}	1.47
$CuCrO_4$	3.6×10^{-6}	5.44
Cu-(DDTC)$_2$	2.5×10^{-30}	29.6
Cu-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.6×10^{-17}	16.8
$Cu_2[Fe(CN)_6]$	1.3×10^{-16}	15.89
CuI	1.1×10^{-12}	11.96
$CuI+I^-=CuI_2^-$	7.8×10^{-4}	3.11
$Cu(IO_3)_2$	7.4×10^{-8}	7.13
CuN_3	4.9×10^{-9}	8.31
$1/2Cu_2O+1/2H_2O=Cu^++OH^-$	1×10^{-14}	14.0
$Cu(N_3)_2$	6.3×10^{-10}	9.2
$CuO+H_2O=Cu^{2+}+2OH^-$	2.2×10^{-20}	19.66
$CuO+H_2O+2OH^-=Cu(OH)_4^{2-}$	1.9×10^{-3}	2.72
CuL_2 邻氨基苯甲酸铜	6.0×10^{-14}	13.22
CuL_2 8-羟基喹啉铜	2.0×10^{-30}	29.7
$Cu_2P_2O_7$	8.3×10^{-16}	15.08
$Cu_3(PO_4)_2$	1.3×10^{-37}	36.9
Cu-红氨酸	7.67×10^{-16}	15.12
Cu-(铜铁试剂)$_2$	9.33×10^{-17}	16.03
Cu_2S	2.5×10^{-48}	47.6
$Cu_2S+2H^+=2Cu^++H_2S$	1×10^{-27}	27.0
CuS	6.3×10^{-36}	35.2
$CuS+2H^+=Cu^{2+}+H_2S$	6×10^{-15}	14.2
CuSCN	4.8×10^{-15}	14.32
$CuSCN+2HCN=[Cu(CN)_2^-]+2H^++SCN^-$	1.3×10^{-9}	8.88
$CuSCN+3SCN^-=[Cu(SCN)_4]^{3-}$	2.2×10^{-3}	2.65
$CuSeO_3$	2.1×10^{-8}	7.68
$Dy_2(CrO_4)_3\cdot10H_2O$	1.0×10^{-8}	8.0
$Dy(OH)_3$	1.4×10^{-22}	21.85
$Er(OH)_3$	4.1×10^{-24}	23.39
$Eu(OH)_3$	8.9×10^{-24}	23.05
$FeAsO_4$	5.7×10^{-21}	20.24
$FeCO_3$	3.2×10^{-11}	10.50
$FeC_2O_4\cdot2H_2O$	3.2×10^{-7}	6.5
FeF_2	2.36×10^{-6}	5.63
$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	3.3×10^{-41}	40.52
$Fe(OH)_2$	8×10^{-16}	15.1
$Fe(OH)_2+OH^-=Fe(OH)_3^-$	8×10^{-6}	5.1
$Fe(OH)_3$	4×10^{-38}	37.4
Fe-(喹啉-2-甲酸)$_3$	1.3×10^{-17}	16.9
Fe-(8-羟基喹啉)$_3$	3.16×10^{-44}	43.5
$Fe_4(P_2O_7)_3$	2.51×10^{-23}	22.6
Fe-(铜铁试剂)$_3$	1.0×10^{-25}	25.0
$FePO_4$	1.3×10^{-22}	21.89
FeS	6.3×10^{-18}	17.2
$Fe_2(SeO_3)_3$	2.0×10^{-31}	30.7
$Ga_4[Fe(CN)_6]_3$	1.5×10^{-34}	33.82
$Ga(OH)_3$	7.0×10^{-36}	35.15
GaL_3 8-羟基喹啉镓	8.7×10^{-33}	32.06
Gd-(DDTC)$_3$	3.16×10^{-25}	24.5
$Gd(HCO_3)_3$	2×10^{-2}	1.7

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$Gd(OH)_3$	1.8×10^{-23}	22.74
GeO_2	1.0×10^{-57}	57.0
$Hf(OH)_4$	4.0×10^{-25}	25.4
Hg_2Br_2	5.6×10^{-23}	22.24
$Hg_2(CN)_2$	5×10^{-40}	39.3
Hg_2CO_3	8.9×10^{-17}	16.05
$Hg_2(C_2H_3O_2)_2$	3×10^{-11}	10.5
$Hg_2C_2O_4$	2.0×10^{-13}	12.7
HgC_2O_4	1.0×10^{-7}	7
$Hg_2C_4H_4O_6$ 酒石酸亚汞	1.0×10^{-10}	10.0
Hg_2Cl_2	1.3×10^{-18}	17.88
Hg_2F_2	3.10×10^{-6}	5.51
Hg_2CrO_4	2×10^{-9}	8.70
Hg-(DDTC)$_2$	3.16×10^{-44}	43.5
Hg-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.6×10^{-17}	16.8
$(Hg_2)_3[Fe(CN)_6]_2$	8.5×10^{-21}	20.07
Hg_2I_2	4.5×10^{-29}	28.35
HgI_2	2.82×10^{-29}	28.55
$Hg_2(IO_3)_2$	2.0×10^{-14}	13.71
$Hg(IO_3)_2$	3.2×10^{-13}	12.50
$Hg_2(N_3)_2$	7.1×10^{-10}	9.15
$Hg_2O+H_2O=Hg_2^{2+}+2OH^-$	1.0×10^{-46}	46.0
$Hg_2(OH)_2$	2.00×10^{-24}	23.7
$Hg_2(CH_3COO)_2$	2.00×10^{-16}	14.7
Hg_2-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.3×10^{-18}	17.9
Hg-邻菲咯啉	2.0×10^{-25}	24.70
$Hg(OH)_2$	3.0×10^{-26}	25.52
Hg_2HPO_4	4.0×10^{-13}	12.40
Hg_2S	1.0×10^{-47}	47.0
HgS(红)	4×10^{-53}	52.4
HgS(黑)	1.6×10^{-52}	51.8
$Hg_2(SCN)_2$	2.0×10^{-20}	19.7
Hg_2SO_4	7.4×10^{-7}	6.13
Hg_2SO_3	1.0×10^{-27}	27.0
HgSe	1.0×10^{-59}	59.0
$HgSeO_3$	1.5×10^{-14}	13.82
Hg_2WO_4	1.1×10^{-17}	16.96
$Ho(OH)_3$	5.0×10^{-23}	22.30
$In_4[Fe(CN)_6]_3$	1.9×10^{-44}	43.72
In-(DDTC)$_3$	1.0×10^{-25}	25.0
$In(OH)_3$ 新	5.01×10^{-34}	33.3
陈	1.0×10^{-35}	35
In-(8-羟基喹啉)$_3$	4.6×10^{-32}	31.34
In_2S_3	5.7×10^{-74}	73.24
$K[Au(SCN)_4]$	6×10^{-5}	4.2
$KB(C_6H_5)_4$	2.2×10^{-8}	7.65
$KBrO_3$	5.7×10^{-2}	1.24
$K_2[Cu(HCO_3)_4]$	3×10^{-12}	11.5
$KClO_4$	1.1×10^{-2}	1.97

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$K_2Na[Co(NO_2)_6]$	2.2×10^{-11}	10.66
KIO_4	8.3×10^{-4}	3.08
K_2PdCl_6	6.0×10^{-6}	5.22
K_2PtF_6	2.9×10^{-5}	4.54
K_2PtCl_6	1.1×10^{-5}	4.96
K_2PtBr_6	6.3×10^{-5}	4.2
K_2SiF_3	8.7×10^{-7}	6.06
$K_4[UO_2(CO_3)_3]$	6.3×10^{-5}	4.2
KUO_2AsO_4	2.5×10^{-23}	22.60
$KZrF_6$	5×10^{-4}	3.3
$La_2(C_4H_4O_6)_3$	2.0×10^{-19}	18.7
$La_2(C_2O_4)_3$	2.5×10^{-27}	26.60
LaF_3	7×10^{-17}	16.2
$La(IO_3)_3$	6.1×10^{-12}	11.21
$LaMoO_4$	4.0×10^{-21}	20.4
$La(OH)_3$ 新	1.58×10^{-18}	18.8
陈	1.0×10^{-20}	20
$La_2(WO_4)_3\cdot3H_2O$	1.3×10^{-4}	3.90
La_2S_3	2.0×10^{-13}	12.7
Li_3PO_4	3.2×10^{-9}	8.5
LiF	3.8×10^{-3}	2.42
Li_2CO_3	2.5×10^{-2}	1.80
$LiUO_2AsO_4$	1.5×10^{-19}	18.82
$Lu(OH)_3$	1.9×10^{-24}	23.72
$Mg_3(AsO_4)_2$	2.1×10^{-20}	19.68
$MgCO_3$	3.5×10^{-8}	7.46
$MgCO_3\cdot3H_2O$	2.14×10^{-5}	4.67
$MgCO_3\cdot5H_2O$	3.79×10^{-6}	5.42
$MgCO_3+CO_2+H_2O=Mg^{2+}+2HCO_3^-$	4.5×10^{-1}	0.35
$Mg(IO_3)_2\cdot4H_2O$	3.2×10^{-3}	2.5
$MgC_2O_4\cdot2H_2O$	1.0×10^{-8}	8.0
MgL_2 8-羟基喹啉镁	4×10^{-16}	15.4
MgF_2	6.5×10^{-9}	8.19
$Mg(NbO_3)_2$	2.3×10^{-17}	16.64
$Mg(OH)_2$	1.8×10^{-11}	10.74
$MgNH_4PO_4$	2.5×10^{-13}	12.60
$Mg_3(PO_4)_2$	10^{-23} ~10^{-27}	23~27
$MgSeO_3$	1.3×10^{-5}	4.89
$MgSO_3$	3.2×10^{-3}	2.50
MnL_2 邻氨基苯甲酸锰	1.8×10^{-7}	6.75
$Mn_2(AsO_4)_2$	1.9×10^{-29}	28.72
$MnCO_3$	1.8×10^{-11}	10.74
$MnC_2O_4\cdot2H_2O$	1.1×10^{-15}	14.96
$Mn_2[Fe(CN)_6]$	8.0×10^{-13}	12.10
$Mn(OH)_4$	1.9×10^{-13}	12.72
$Mn(IO_3)_2$	4.37×10^{-7}	6.36
MnL_2 8-羟基喹啉锰	2.0×10^{-22}	21.7
$Mn(OH)_2+OH^-=Mn(OH)_3^-$	1×10^{-5}	5.0
MnS(无定形的)、淡红	2.5×10^{-10}	9.6

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
MnS(结晶形)、绿	2.5×10^{-13}	12.6	Pb-(DDTC)$_2$	2.0×10^{-22}	21.7
$MnSeO_3$	1.3×10^{-7}	6.9	Pb-(喹啉-2-甲酸)$_2$	2.5×10^{-11}	10.6
$(NH_4)_2Na[Co(NO_2)_6]$	4×10^{-12}	11.4	PbF_2	2.7×10^{-8}	7.57
$NH_4UO_2AsO_4$	1.7×10^{-24}	23.77	PbFI	8.5×10^{-9}	8.07
Na_3AlF_6	4×10^{-10}	9.39	$Pb_2[Fe(CN)_6]$	3.5×10^{-15}	14.46
$Na[Au(SCN)_4]$	4×10^{-4}	3.4	PbI_2	7.1×10^{-9}	8.15
$NaK_2[Co(NO_2)_6]$	2.2×10^{-11}	10.66	$PbI_2+I^-=PbI_3^-$	2.2×10^{-5}	4.65
$Na(NH_4)_2[Co(NO_2)_6]$	4×10^{-12}	11.4	$PbI_2+2I^-=PbI_4^{2-}$	1.4×10^{-4}	3.85
$NaPbOH(CO_3)_2$	1×10^{-31}	31.0	$PbI_2+3I^-=PbI_5^{3-}$	6.8×10^{-5}	4.17
$NaUO_2AsO_4$	1.3×10^{-22}	21.87	$PbI_2+4I^-=PbI_6^{4-}$	5.9×10^{-3}	2.23
$Na[Sb(OH)_6]$	4.0×10^{-8}	7.4	$Pb(IO_3)_2$	3.2×10^{-13}	12.49
$Nd(OH)_3$	3.2×10^{-22}	21.49	$PbMoO_4$	1.0×10^{-13}	13
$Ni_3(AsO_4)_2$	3.1×10^{-26}	25.51	$Pb(N_3)_2$	2.5×10^{-9}	8.59
$NiCO_3$	6.6×10^{-9}	8.18	$Pb(NbO_3)_2$	2.4×10^{-17}	16.62
NiL_2 8-羟基喹啉镍	8×10^{-27}	26.1	$Pb(OH)_2$	1.2×10^{-15}	14.93
Ni-(DDTC)$_2$	7.94×10^{-24}	23.1	$Pb(OH)_4$	3.2×10^{-66}	65.49
NiL_2 丁二肟	2.19×10^{-24}	23.66	$PbOHNO_3$	2.8×10^{-4}	3.55
Ni-(邻氨基苯甲酸)$_2$	8.1×10^{-10}	9.09	$PbHPO_4$	1.3×10^{-10}	9.90
Ni-(喹啉-2-甲酸)$_2$	8.0×10^{-11}	10.1	$PbHPO_3$	5.8×10^{-7}	6.24
$[Ni(NH_3)_6](ReO_4)_2$	5.1×10^{-4}	3.29	$Pb_3(PO_4)_2$	8.0×10^{-43}	42.10
$Ni_2[Fe(CN)_6]$	1.3×10^{-15}	14.89	PbS	1.0×10^{-28}	28.00
$Ni_2CN_4=Ni^{2+}+Ni(CN)_4^{2-}$	1.7×10^{-5}	8.77	$PbS+2H^+=Pb^{2+}+H_2S$	1×10^{-6}	6
$[Ni(N_2H_4)]SO_4$	7.1×10^{-14}	13.15	$Pb(SCN)_2$	2.0×10^{-5}	4.70
$Ni(OH)_2$ 新	2.0×10^{-15}	14.7	$PbSO_4$	1.6×10^{-8}	7.79
陈	6.31×10^{-18}	17.2	PbS_2O_3	4.0×10^{-7}	6.40
$Ni_3(PO_4)_2$	5.0×10^{-32}	30.3	$PbSeO_3$	3.2×10^{-12}	11.5
$Ni(OH)_2+OH^-=Ni(OH)_3^-$	6×10^{-5}	4.2	$PbSeO_4$	1.4×10^{-7}	6.84
NiC_2O_4	4×10^{-10}	9.4	$PbWO_4$	4.5×10^{-7}	6.35
$Ni_2P_2O_7$	1.7×10^{-13}	12.77	Pd-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.3×10^{-13}	12.9
$Ni(IO_3)_2$	1.4×10^{-8}	7.85	$Pd(OH)_2$	1.0×10^{-31}	31.0
α-NiS	3.2×10^{-19}	18.5	$Pd(OH)_4$	6.3×10^{-71}	70.2
β-NiS	1.0×10^{-24}	24.0	PdS	2.03×10^{-58}	57.69
γ-NiS	2.0×10^{-26}	25.7	$Pd(SCN)_2$	4.38×10^{-23}	22.36
$NiSeO_3$	1.0×10^{-5}	5.0	$Pm(OH)_3$	1×10^{-21}	21.0
$NpO_2(OH)_2$	2.5×10^{-22}	21.6	PoS	5.5×10^{-29}	28.26
$Pb_3(AsO_4)_2$	4.0×10^{-36}	35.39	$Pr(OH)_3$	6.8×10^{-22}	21.17
Pb-乙酸盐	1.8×10^{-3}	2.75	$PtBr_4$	3.2×10^{-41}	40.5
PbL_2 邻氨基苯甲酸铅	1.6×10^{-10}	9.81	$Pt(OH)_2$	1×10^{-35}	35.0
PbOHBr	2.0×10^{-15}	14.70	PtS	9.91×10^{-74}	73.0
$Pb(BO_2)_2$	1.6×10^{-11}	10.78	PuF_3	2.5×10^{-16}	15.6
$PbBr_2$	4.0×10^{-5}	4.41	PuF_4	6.3×10^{-20}	19.2
$PbBr_2=PbBr^++Br^-$	3.9×10^{-4}	3.41	$Pu(IO_3)_4$	5×10^{-13}	12.3
$Pb(BrO_3)_2$	2.0×10^{-2}	1.70	$Pu(OH)_3$	2.0×10^{-20}	19.7
$PbCO_3$	7.4×10^{-14}	13.13	$Pu(OH)_4$	1.0×10^{-55}	55.0
PbC_2O_4	4.8×10^{-10}	9.32	$PuO_2(OH)$	5.0×10^{-10}	9.3
PbOHCl	2×10^{-14}	13.7	$PuO_2(OH)_2$	2.0×10^{-25}	24.7
$Pb(ClO_2)_2$	4×10^{-9}	8.4	$Pu(HPO_4)_2\cdot xH_2O$	2.0×10^{-28}	27.7
$PbCl_2$	1.6×10^{-5}	4.79	$Ra(IO_3)_2$	8.7×10^{-10}	9.06
PbClF	2.4×10^{-9}	8.62	$RaSO_4$	4.2×10^{-11}	10.37
$PbCrO_4$	2.8×10^{-13}	12.55	$RbClO_4$	2.5×10^{-3}	2.60

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
$Rb_3[Co(NO_2)_6]$	1.5×10^{-15}	14.83
$RbIO_4$	5.5×10^{-4}	3.26
Rb_2PtCl_6	6.3×10^{-8}	7.2
$RbPtF_6$	7.7×10^{-7}	6.12
$RbSiF_6$	5.0×10^{-7}	6.3
$Rh(OH)_3$	1×10^{-23}	23
$Ru(OH)_3$	1×10^{-36}	36
$Ru(OH)_4=Ru(OH)^{3+}+3OH^-$	1×10^{-34}	34
Sb_2S_3	1.5×10^{-93}	92.8
$1/2Sb_2O_3+3/2H_2O=Sb^{3+}+3OH^-$	2.0×10^{-5}	4.70
$1/2Sb_2S_3+H_2O+H^+=SbO^++3/2H_2S$	8×10^{-31}	30.1
ScF_3	4.2×10^{-18}	17.37
$Sc(OH)_3$	8×10^{-31}	30.1
SiO_2(无定形)$+2H_2O=Si(OH)_4$	2×10^{-3}	2.7
$Sm(OH)_3$	8.2×10^{-23}	22.08
$Sn(OH)_4$	1×10^{-56}	56
$Sn(OH)_2$	1.4×10^{-28}	27.85
SnS	1.0×10^{-25}	25.0
SnS_2	2.5×10^{-27}	26.6
$Sr_3(AsO_4)_2$	8.1×10^{-19}	18.09
$SrCO_3$	1.1×10^{-10}	9.96
$SrC_2O_4\cdot H_2O$	1.6×10^{-7}	6.80
SrL_2 8-羟基喹啉锶	5×10^{-10}	9.3
$SrCrO_4$	2.2×10^{-5}	4.65
SrF_2	2.5×10^{-9}	8.61
$Sr(IO_3)_2$	3.3×10^{-7}	6.48
$SrMoO_4$	2×10^{-7}	6.7
$Sr(NbO_3)_2$	4.2×10^{-18}	17.38
$Sr_3(PO_4)_2$	4.0×10^{-28}	27.39
$SrSO_3$	4×10^{-8}	7.4
$SrSO_4$	3.2×10^{-7}	6.49
$SrSeO_3$	1.8×10^{-6}	5.74
$SrSeO_4$	8.1×10^{-4}	3.09
$SrWO_4$	1.7×10^{-10}	9.77
$Tb(OH)_3$	2.0×10^{-22}	21.7
$TeO_2+4H^+=Te^{4+}+2H_2O$	2.1×10^{-2}	1.68
$Te(OH)_4$	3.0×10^{-54}	53.52
$ThF_4\cdot4H_2O+2H^+=ThF_2^{2+}+2HF+4H_2O$	5.9×10^{-8}	7.23
$Th(OH)_4$	4.0×10^{-45}	44.4
$Th(IO_3)_4$	2.5×10^{-15}	14.6
$Th(C_2H_4)_2$	1.0×10^{-22}	22.0
$Th_3(PO_4)_2$	2.5×10^{-79}	78.6
$Th(HPO_4)_2$	1×10^{-20}	20
$Ti(OH)_3$	1×10^{-40}	40
$TiO(OH)_2$	1×10^{-29}	29
$TlBr$	3.4×10^{-6}	5.47
$TlBr+Br^-=TlBr_2^-$	2.4×10^{-5}	4.62
$TlBr+2Br^-=TlBr_3^{2-}$	8.0×10^{-6}	5.10
$TlBr+3Br^-=TlBr_4^{3-}$	1.6×10^{-6}	5.80
$TlBrO_3$	8.5×10^{-5}	4.07
$Tl_2C_2O_4$	2×10^{-4}	3.7
$TlCl$	1.7×10^{-4}	3.76
$TlCl+Cl^-=TlCl_2^-$	1.8×10^{-4}	3.74
$TlCl+2Cl^-=TlCl_3^{2-}$	2.0×10^{-5}	4.70
Tl_2CrO_4	1.0×10^{-12}	12
Tl-DDTC	7.94×10^{-11}	10.1
$Tl_4[Fe(CN)_6]\cdot2H_2O$	5×10^{-10}	9.3
TlI	6.5×10^{-8}	7.19
$TlI+I^-=TlI_2^-$	1.5×10^{-6}	5.82
$TlI+2I^-=TlI_3^{2-}$	2.3×10^{-6}	5.64
$TlI+3I^-=TlI_4^{3-}$	1.0×10^{-6}	6.0
$TlIO_3$	3.1×10^{-6}	5.51
TlN_3	2.2×10^{-4}	3.66
$1/2Tl_2O_3+3/2H_2O=Tl^{3+}+3OH^-$	6.3×10^{-46}	45.20
TlL_3 8-羟基喹啉铊	4.0×10^{-33}	32.4
Tl_2PtO_6	4×10^{-12}	11.4
Tl_2S	5.0×10^{-21}	20.3
$TlSCN$	1.7×10^{-4}	3.77
$TlSeO_3$	2×10^{-39}	38.7
$TlSeO_4$	1×10^{-4}	4.0
$Tm(OH)_3$	3.3×10^{-24}	23.48
$UF_4\cdot2.5H_2O$	5.7×10^{-22}	21.24
UO_2CO_3	1.8×10^{-12}	11.73
UO_2HAsO_4	3.2×10^{-11}	10.50
$UO_2(IO_3)_2\cdot H_2O$	3.2×10^{-8}	7.50
UO_2KAsO_4	2.5×10^{-23}	22.60
UO_2LiAsO_4	1.5×10^{-19}	18.82
$UO_2NH_4AsO_4$	1.7×10^{-24}	23.77
UO_2NaAsO_4	1.3×10^{-22}	21.87
$UO_2C_2O_4\cdot3H_2O$	2×10^{-4}	3.7
$(UO_2)_2[Fe(CN)_6]$	7.1×10^{-14}	13.15
$UO_2(OH)_2$	1.1×10^{-22}	21.95
$UO_2(OH)_2+OH^-=HUO_4^-+H_2O$	2.5×10^{-4}	3.60
UO_2HPO_4	2.1×10^{-11}	10.67
$(UO_2)_3(PO_4)_2$	2.0×10^{-47}	46.7
$UO_2(SCN)_2$	4.0×10^{-4}	3.4
UO_2SO_3	2.6×10^{-9}	8.59
$VO(OH)_2$	5.9×10^{-23}	22.13
$1/2V_2O_5+H^+=VO_2^++1/2H_2O$	2×10^{-1}	0.7
$(VO)_3(PO_4)_2$	8×10^{-25}	24.1
$Y(OH)_3$	8.0×10^{-23}	22.1
$Y_2(C_2O_4)_3$	5.3×10^{-29}	28.28
$Yb(OH)_3$	3×10^{-24}	23.52
$Yt(OH)_3$	2.5×10^{-24}	23.6
$Zn_3(AsO_4)_2$	1.3×10^{-28}	27.89
$ZnCO_3$	1.4×10^{-11}	10.84
$ZnC_2O_4\cdot2H_2O$	2.8×10^{-8}	7.56

续表

化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}	化合物的化学式	K_{sp}	pK_{sp}
ZnF_2	3.04×10^{-2}	1.52	$Zn(OH)_2+OH^-=Zn(OH)_3^-$	3×10^{-3}	2.5
$Zn_2[Fe(CN)_6]$	4.0×10^{-16}	15.39	ZnL_2 8-羟基喹啉锌	5×10^{-25}	24.3
$Zn[Hg(SCN)_4]=Zn^{2+}+[Hg(SCN)_4]^{2-}$	2.2×10^{-7}	6.66	Zn-(喹啉-2-甲酸)$_2$	1.6×10^{-14}	13.8
$Zn(IO_3)_2$	4.29×10^{-6}	5.37	ZnL_2邻氨基苯甲酸锌	5.9×10^{-10}	9.23
	2.0×10^{-8}	7.7	$Zn_3(PO_4)_2$	9.0×10^{-33}	32.04
$Zn(BO_2)_2$	6.31×10^{-11}	10.2	α-ZnS	1.6×10^{-24}	23.8
Zn-(DDTC)$_2$	1.26×10^{-17}	16.9	β-ZnS	2.5×10^{-22}	21.6
$Zn(OH)_2$ 无定形	2.09×10^{-16}	15.68	$ZnSeO_3$	2.6×10^{-7}	6.59
无定形，陈	1.12×10^{-18}	15.95	$Zr_3(PO_4)_4$	1×10^{-132}	132
晶形，陈	1.20×10^{-17}	16.92	$ZrO(OH)_2$	6.3×10^{-49}	48.2

二、水的离子积常数

表 1-74 水的离子积常数（0～100℃）

$K_w=a_{H^+}\cdot a_{OH^-}$；$\sqrt{K_w}=a_{H^+}=a_{OH^-}$

t/℃	K_w	$a_{H^+}=a_{OH^-}$	t/℃	K_w	$a_{H^+}=a_{OH^-}$
0	$10^{-14.96}=0.11\times10^{-14}$	$10^{-7.48}=0.33\times10^{-7}$	30	$10^{-13.83}=1.48\times10^{-14}$	$10^{-6.92}=1.20\times10^{-7}$
5	$10^{-14.76}=0.17\times10^{-14}$	$10^{-7.38}=0.42\times10^{-7}$	31	$10^{-13.80}=1.58\times10^{-14}$	$10^{-6.90}=1.26\times10^{-7}$
10	$10^{-14.53}=0.30\times10^{-14}$	$10^{-7.27}=0.54\times10^{-7}$	32	$10^{-13.77}=1.70\times10^{-14}$	$10^{-6.89}=1.29\times10^{-7}$
15	$10^{-14.34}=0.46\times10^{-14}$	$10^{-7.17}=0.68\times10^{-7}$	33	$10^{-13.74}=1.82\times10^{-14}$	$10^{-6.87}=1.35\times10^{-7}$
16	$10^{-14.30}=0.50\times10^{-14}$	$10^{-7.15}=0.71\times10^{-7}$	34	$10^{-13.71}=1.95\times10^{-14}$	$10^{-6.85}=1.38\times10^{-7}$
17	$10^{-14.26}=0.55\times10^{-14}$	$10^{-7.13}=0.74\times10^{-7}$	35	$10^{-13.62}=2.09\times10^{-14}$	$10^{-6.84}=1.45\times10^{-7}$
18	$10^{-14.22}=0.60\times10^{-14}$	$10^{-7.11}=0.77\times10^{-7}$	36	$10^{-13.65}=2.24\times10^{-14}$	$10^{-6.83}=1.48\times10^{-7}$
19	$10^{-14.19}=0.65\times10^{-14}$	$10^{-7.10}=0.80\times10^{-7}$	37	$10^{-13.62}=2.40\times10^{-14}$	$10^{-6.81}=1.55\times10^{-7}$
20	$10^{-14.16}=0.69\times10^{-14}$	$10^{-7.08}=0.83\times10^{-7}$	38	$10^{-13.59}=2.57\times10^{-14}$	$10^{-6.80}=1.58\times10^{-7}$
21	$10^{-14.12}=0.76\times10^{-14}$	$10^{-7.06}=0.87\times10^{-7}$	39	$10^{-13.56}=2.75\times10^{-14}$	$10^{-6.78}=1.66\times10^{-7}$
22	$10^{-14.09}=0.81\times10^{-14}$	$10^{-7.05}=0.89\times10^{-7}$	40	$10^{-13.53}=2.95\times10^{-14}$	$10^{-6.77}=1.70\times10^{-7}$
23	$10^{-14.06}=0.87\times10^{-14}$	$10^{-7.03}=0.93\times10^{-7}$	50	$10^{-13.26}=5.5\times10^{-14}$	$10^{-6.63}=2.34\times10^{-7}$
24	$10^{-14.03}=0.93\times10^{-14}$	$10^{-7.02}=0.96\times10^{-7}$	60	$10^{-13.02}=9.55\times10^{-14}$	$10^{-6.51}=3.09\times10^{-7}$
25	$10^{-14.00}=1.00\times10^{-14}$	$10^{-7.00}=1.00\times10^{-7}$	70	$10^{-12.80}=15.8\times10^{-14}$	$10^{-6.40}=3.98\times10^{-7}$
26	$10^{-13.96}=1.10\times10^{-14}$	$10^{-6.98}=1.05\times10^{-7}$	80	$10^{-12.60}=25.1\times10^{-14}$	$10^{-6.30}=5.01\times10^{-7}$
27	$10^{-13.93}=1.17\times10^{-14}$	$10^{-6.97}=1.07\times10^{-7}$	90	$10^{-12.42}=38.0\times10^{-14}$	$10^{-6.21}=6.17\times10^{-7}$
28	$10^{-13.89}=1.29\times10^{-14}$	$10^{-6.95}=1.12\times10^{-7}$	100	$10^{-12.26}=55.0\times10^{-14}$	$10^{-6.13}=7.41\times10^{-7}$
29	$10^{-13.86}=1.38\times10^{-14}$	$10^{-6.93}=1.17\times10^{-7}$			

三、酸和碱的离解常数

表中所列的是酸的离解常数的负对数值，即$-\lg K_a=pK_a$。一般的质子转移反应式为：

$$HB \rightleftharpoons H^+ + B^-$$

酸的离解常数表示如下：

$$K_a=\frac{[H^+][B^-]}{[HB]}$$

酸（HB）及其共轭碱B的最普通电荷型式，如

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$（乙酸，乙酸根离子）

$$HSO_4 \rightleftharpoons H^+ + SO_4^{2-}$$（硫酸氢离子，硫酸根离子）

$$NH_4^+ \rightleftharpoons H^+ NH_3$$（铵离子，氨）

具有一个以上的氢离子分级离解的酸，如磷酸

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^-;\ pK_1=2.12;\ K_1=7.6\times10^{-3}$$

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{2-};\ pK_2=7.20;\ K_2=6.3\times10^{-8}$$

$$HPO_4^{2-} \rightleftharpoons H^+ + PO_4^{3-};\ pK_3=12.36;\ K_3=4.4\times10^{-13}$$

对 $NH_3+H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ 的离解平衡，如果要求以碱的离解常数 K_b 表示时，pK_b 可按下列关系计算。

$$pK_b=pK_w-pK_a$$

其中 $K_w=[H^+][OH^-]$，是水的离子积，$pK_w=pH+pOH$，这样，氨的 pK_b 和 K_b 值分别为：

$$pK_b=14.00-9.24=4.76$$

$$K_b=1.7\times10^{-5}$$

表 1-75 无机酸、碱在水溶液中的离解常数（25℃）

（按化学式顺序排列）

化学式	名称	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
H_3AlO_3	铝酸	11.2			
H_3AsO_3	亚砷酸	9.22			
H_3AsO_4	砷酸	2.20	6.98	11.50	
H_3BO_3	硼酸	9.24	12.74	13.80	
$H_2B_4O_7$	四硼酸	4	9		
HBrO	次溴酸	8.62			
HClO	次氯酸	7.50			
$HClO_2$	亚氯酸	1.96			
HCN	氢氰酸	9.21			
HCNO	氰酸	3.46			
H_2CO_3	碳酸	6.38	10.25		
H_2CS_3	三硫代碳酸	2.68	8.18		
H_2CrO_4	铬酸	0.98	6.50		
$H_2Cr_2O_7$	重铬酸		1.64		
HF	氢氟酸	3.18			
$H_4Fe(CN)_6$	亚铁氰酸	<1	<1	2.22	4.17
H_2GeO_3	锗酸	8.78	12.72		
HIO_4；H_5IO_6	高碘酸	1.55	8.27	14.98	
HIO_3	碘酸	0.77			
HIO	次碘酸	10.64			
H_2MnO_4	锰酸		10.15		
H_2MoO_4	钼酸	2.54	3.86		
NH_4^+	铵离子	9.24			
HN_3	迭氮酸	4.72			

续表

化学式	名称	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
HNO_2	亚硝酸	3.29			
HON=NOH	连二次硝酸	6.95	10.84		
$HO\cdot NH_3^+$	羟铵离子	5.96			
$H_2N\cdot NHSO_3H$	肼基磺酸	3.85			
$^+H_3N\cdot NH_3^+$	钅并离子	−0.88	7.99		
$H_2N\cdot NO_2$	硝酰胺	6.58			
H_2O_2	过氧化氢	11.65			
H_3PO_3	亚磷酸	1.3	6.6		
H_3PO_4	磷酸	2.12	7.20	12.36	
$H_4P_2O_7$	焦磷酸	1.52	2.36	6.60	9.25
H_3PO_2	次磷酸	1.23			
$H_4P_2O_6$	连二磷酸	2.20	2.81	7.27	10.03
$H_5P_3O_8$ $(NH)_2$	二亚氨基三磷酸	~0.5	~2	3.94	7.74 9.95
$(H_2N)_2PO_2H$	二氨基磷酸	4.83			
$HReO_4$	高铼酸	−1.25			
H_2S	氢硫酸	6.88	14.15		
H_2SO_3	亚硫酸	1.90	7.20		
H_2SO_4	硫酸		1.92		
H_2SO_5	过(氧络)硫酸		9.3		
$H_2S_2O_3$	硫代硫酸	0.60	1.72		
$H_2S_2O_4$	连二亚硫酸		2.45		
$H_2S_2O_6$	连二硫酸	0.2	3.4		
HSCN	硫氰酸	0.85			
$HSb(OH)_6$	六羟络锑酸	2.55			
H_2Se	氢硒酸	3.89	11.0		
H_2SeO_3	亚硒酸	2.57	6.60		
H_2SeO_4	硒酸	—	1.92		
H_2SiO_3	硅酸	9.77	11.80		
H_4SiO_4	原硅酸	9.66	11.70	12.00	12.00
H_2Te	氢碲酸	2.64	11		
H_2TeO_3	亚碲酸	2.57	7.74		
H_6TeO_6	原碲酸	7.61	11.00		
H_3VO_4	钒酸		8.95	14.4	
H_2WO_4	钨酸	4.2			
AgOH①	氢氧化银	3.96			
$Be(OH)_2$①	氢氧化铍		10.30		
$Ca(OH)_2$①	氢氧化钙	2.43	1.40		
$Pb(OH)_2$①	氢氧化铅	3.02			
$Zn(OH)_2$①	氢氧化锌	3.02			

①表中数据为相应碱的 pK_b 值。

表 1-76 有机酸、碱在水溶液中的离解常数（25℃）

除另加说明者外，离子强度 I 均为零。质子化阳离子在其 pK_a 值后标记为(+1)，(+2)等；中性物质如不是显而易见者标记为(0)；带负电荷的酸标记为(−1)，(−2)等。pK_a 值后括号中加注的基团(如 SH，巯基；OH，羟基)表示为该基团上氢离解时的值。物质按中文名字笔画顺序排列。除特殊注明外均为 25℃时。

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
一氯二氟乙酸	0.46			
1,2-乙二胺	6.85(+2)	9.92(+1)		
1,2-乙二胺-N,N'-二甲基-N,N'-二乙酸(20℃)	6.047(0)	10.068(−1)		
1,2-乙二胺-N,N'-二乙酸	6.42	9.46		
1,2-乙二胺-N,N-二甲基-N,N'-二乙酸	6.047	10.068		
乙二胺-N,N'-二乙酸-N,N'-二丙酸(30℃)	3.00	3.79	5.98	9.83
乙二胺-N,N,N',N'-四乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	1.99	2.67	6.16	10.26
乙二胺-N,N,N',N'-四丙酸(30℃)	3.00	3.43	6.77	9.60
乙二胺-N,N'-二丙酸(30℃)	6.87	9.60		
1,2-乙二硫醇	8.96	10.54		
乙炔二羧酸	1.75	4.40		
乙胂酸(18℃)	3.89	8.35		
乙脒	1.60(+1)			
乙胺	10.63(+1)			
(3-乙氨基)苯膦酸	1.1(+1)	4.90(0)	7.24(−1)	
2-乙氧基乙胺	6.26(+1)			
2-乙氧基乙硫醇	9.38			
乙氧基乙酸(18℃)	3.65			
4-乙氧基吡啶	6.67(+1)			
2-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.21			
3-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.17			
4-乙氧基苯甲酸(20℃)	4.80			
2-乙氧基苯胺(邻-氨基苯乙醚)	4.47(+1)			
3-乙氧基苯胺	4.17(+1)			
4-乙氧基苯胺	5.25(+1)			
2-乙氧基苯酚	10.109			
3-乙氧基苯酚	9.655			
(4-乙氧基苯基)膦酸	2.06	7.28		
乙氧羰基乙胺	9.13(+1)			
N-乙基乙二胺	7.63(+2)	10.56(+1)		
乙基丁二酸	4.08(0)			
2-乙基丁酸(20℃)	4.710			
乙基巴比土酸	3.69(+1)			
乙基双胍	2.09(+1)	11.47(0)		
亚乙基双胍(30℃)	1.74	2.88	11.34	11.76
亚乙基双(硫代乙酸)(18℃)	3.382(0)	4.352(−1)		
N-乙基邻甲苯胺	4.92(+1)			
乙基甲基(甲)酮肟	12.45			
乙基甲基丙二酸	2.86(0)	6.41(−1)		
5-乙基-5-(1-甲丁基)巴比土酸	8.11(0)			
3-乙基-4-(甲氨基)吡啶(20℃)	9.90(+1)			
3-乙基-6-甲基吡啶(20℃)	6.51(+1)			
3-乙基-4-甲基吡啶-1-氧化物	−1.534(+1)			
5-乙基-2-甲基吡啶-1-氧化物	−1.288(+1)			
1-乙基-2-甲基-2-吡咯啉	11.84(+1)			
1-乙基-2-甲基哌啶	10.66(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
N-乙基甘氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.34(+1)	10.23(0)		
乙基过氧氢	11.80			
乙基丙二酸	2.90(0)	5.55(−1)		
乙基丙基丙二酸	3.14	7.43		
2,2-乙基丙基戊二酸	3.511			
3-乙基丙烯酸	4.695			
3-乙基戊烷-2,4-二酮	11.34			
5-乙基-5-戊烷基巴比土酸	7.960			
2-乙基戊酸(18℃)	4.71			
3-乙基戊二酸	4.28	5.33		
乙基吗啡碱(15℃)	8.08			
乙基吡咯烷	10.43(+1)			
2-乙基-2-吡咯啉	7.87(+1)			
2-乙基吡啶	5.89(+1)			
2-乙基吡啶-1-氧化物	−1.19(+1)			
3-乙基吡啶(20℃)	5.80(+1)			
3-乙基吡啶-1-氧化物	−0.965(+1)			
4-乙基吡啶	5.87(+1)			
2-乙基苯甲酸	3.79			
4-乙基苯甲酸	4.35			
N-乙基苯胺	5.11(+1)			
2-乙基苯胺	4.42(+1)			
3-乙基苯胺	4.70(+1)			
4-乙基苯胺	5.00(+1)			
2-乙基苯酚	10.2			
3-乙基苯酚	10.07			
4-乙基苯酚	10.0			
4-乙基苯基乙酸	4.373			
5-乙基-5-苯基巴比土酸	7.445			
2-乙基苯基咪唑(I=0.16mol·kg^{-1})	6.27(+1)			
1-乙基哌啶(I=0.01mol·kg^{-1})	10.45(+1)			
3-乙基-2-羟基吡啶	5.00(+1)			
S-乙基硫代乙酸	5.06			
N-乙基巯基乙酰胺	8.14(SH)			
N-乙基藜芦胺	7.40(+1)			
乙烯基甲基胺	9.69(+1)			
2-乙烯基吡啶	4.98(+1)			
4-乙烯基吡啶	5.62(+1)			
乙硫醇(I=0.015mol·kg^{-1})	10.61			
乙酰乙酸(18℃)	3.58			
乙酰乙酸(18℃)	3.58			
乙酰乙酸乙酯	10.68			
2-乙酰吡啶	2.643(+1)			
3-乙酰吡啶	3.256(+1)			
4-乙酰吡啶	3.505(+1)			
乙酰肼	3.24(+1)			
N-乙酰胍	8.23(+1)			
N-乙酰青霉胺(30℃)	9.90			
N 乙酰苯胺	0.4(+1)	13.39(0)40℃		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-乙酰苯酚	9.19			
4-乙酰苯酚	8.05			
乙酰胺	−0.37(+1)			
3-乙酰氨基吡啶	4.37(+1)			
2-乙酰氨基苯甲酸	3.63			
3-乙酰氨基苯甲酸	4.07			
4-乙酰氨基苯甲酸	4.28			
N-(2-乙酰氨基)-2-氨基乙磺酸(20℃)	6.88			
N-(2-乙酰氨基)亚氨基二乙酸(20℃)	6.62			
2-乙酰-1-萘酚(30℃)	13.40			
2-乙酰基环己酮	14.1			
2-乙酰基苯甲酸	4.13			
3-乙酰基苯甲酸	3.83			
4-乙酰基苯甲酸	3.70			
乙酰异羟肟酸(20℃)	9.40			
N-乙酰-2-巯基乙氨	9.92(SH)			
4-乙酰-β-巯基异亮氨酸(30℃)	10.30			
乙醇酸(羟基乙酸)	3.831			
乙酸	4.756			
乙酸-*d*(乙酸在重水中)	5.32			
2-乙酸基苯甲酸(乙酰水杨酸)	3.48			
3-乙酸基苯甲酸	4.00			
4-乙酸基苯甲酸	4.38			
乙膦酸	2.43	8.05		
乙次膦酸	3.29			
N,*N*-二乙基乙二胺	7.70(+2)	10.46(+1)		
二乙基乙醇酸(18℃)	3.804			
2,3-二乙基丁二酸,外消旋	3.63	6.46		
2,3-二乙基丁二酸,内消旋	3.54	6.59		
二亚乙基三胺	4.42(+3)	9.21(+2)	10.02(+1)	
二亚乙基三胺五乙酸(pK_5=10.58)	1.80(0)	2.55(−1)	4.33(−2)	8.60(−3)
5,5-二乙基巴比土酸(佛罗那)	8.020(0)			
二乙基双胍(30℃)	2.53(+1)	11.68(0)		
二乙基甲基胺	10.43(+1)			
二乙基丙二酸	2.151	7.417		
2,2-二乙基戊二酸	3.62	7.12		
N,*N*-二乙基甘氨酸	2.04(+1)	10.47(0)		
N,*N*-二乙基苄胺	9.48(+1)			
N,*N*-二乙基苯胺	6.56(+)			
N,*N*-二乙基邻甲苯胺	7.18(+1)			
二乙基胺	10.8(+1)			
α-(二乙氨基)甲苯	9.44(+1)			
2-(二乙氨基)-4-氨基苯甲酸乙酯	8.85(+1)			
二(乙氧基乙基)胺	8.47(+1)			
3,5-二乙氧基苯酚	9.370			
3-(二乙氧基氧亚膦基)苯甲酸	3.65			
4-(二乙氧基氧亚膦基)苯甲酸	3.60			
3-(二乙氧基氧亚膦基)苯酚	8.66			
4-(二乙氧基亚膦基)苯酚	8.28			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
二乙酰基丙酮	7.42			
二乙醇酸	2.96			
二丁胺	11.25(+1)			
二仲丁胺	10.91(+1)			
外消旋-2,3-二叔丁基琥珀酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.58	10.2		
1,3-二[三(羟甲基)甲氨基]丙烷(20℃)	6.80(+1)			
二己基胺	11.0(+1)			
3-(二甲氨乙基)吡啶	4.30(+2)	8.86(+1)		
4-(二甲氨乙基)吡啶	4.66(+2)	8.70(+1)		
2-[2-(二甲氨基)乙基]吡啶	3.46(+2)	8.75(+1)		
4-(二甲氨基)-3-乙基吡啶(20℃)	8.66(+1)			
4-二甲氨基-3,5-二甲基吡啶(20℃)	8.15(+1)			
2-(二甲氨基)乙醇	9.26(+1)			
4-二甲氨基-2,3-二甲基-1-苯基-3-吡唑啉-5-酮	4.18(+1)			
4-(二甲氨基)-3-甲基吡啶(20℃)	8.68(+1)			
4-(二甲氨基)-3-异丙基吡啶(20℃)	8.27(+1)			
4-(二甲氨基)吡啶(20℃)	6.09(+1)			
2-(二甲氨基甲基)吡啶	2.58(+2)	8.12(+1)		
3-(二甲氨基甲基)吡啶	3.17(+2)	8.00(+1)		
4-(二甲氨基甲基)吡啶	3.39(+2)	7.66(+1)		
N,*N*-二甲氨基环己烷	10.72(+1)			
(4-二甲氨基苯基)膦酸	2.0(+1)	4.2	7.35	
4-二甲氨基苯甲醛	1.647(+1)			
二(2-甲氧乙基)胺	9.51(+1)			
1,10-二甲氧基-3,8-二甲基-4,7-菲咯啉	7.21			
(3,4-二甲氧基)苯乙酸	4.333			
2,6-二甲氧基苯甲酸	3.44			
3,5-二甲氧基苯胺	3.86(+1)			
3,5-二甲氧基(苯)酚	9.345			
N,*N*-二甲基乙二胺-*N*,*N*-双乙酸	6.63	9.53		
N,*N*-二甲基乙二胺-*N*,*N'*-双乙酸	7.40	10.16		
N,*N*-二甲基乙二胺-*N*,*N'*-双乙酸	5.99	9.97		
1,1-二甲基乙硫醇(I=0.1mol·kg^{-1})	11.22			
二甲基乙醇酸(18℃)	4.04			
3,5-二甲基-4-(二甲氨基)吡啶(20℃)	8.12(+1)			
2,2-二甲基-1,3-二氧六环-4,6-二酮	5.1			
DL-2,3-二甲基丁二酸	3.82	5.93		
2,3-二甲基丁二酸,内消旋	3.67	5.30		
2,3-二甲基丁二酸,外消旋	3.94	6.20		
2,2-二甲基丁二酸,内消旋	3.77	5.936		
2,2-二甲基丁二酸,外消旋	3.93	6.20		
2,2-二甲基丁酸(18℃)	5.03			
5,5-二甲基-2,4-己二酮	10.01			
二甲基马来酸	3.17	6.06		
二甲基双胍	2.77(+1)	11.52		
1,3-二甲基巴比土酸	4.68(+1)			
N,*N*-二甲基邻甲苯胺	5.86(+1)			
N,*N*-二甲基对甲苯胺	7.24(+1)			
3,5-二甲基-4-(甲氨基)吡啶(20℃)	9.96(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2,2-二甲基丙酸(新戊酸)	5.031			
2,2-二甲基丙膦酸	2.84	8.65		
2,2-二甲基丙二酸	3.17	6.06		
3,3-二甲基戊二酸	3.70	6.34		
2,2-二甲基戊酸	4.969			
4,4-二甲基戊酸(18℃)	4.79			
2,4-二甲基吡啶(2,4-卢剔啶)	6.74(+1)			
2,4-二甲基吡啶-1-氧化物	1.627(+1)			
2,5-二甲基吡啶(2,5-卢剔啶)	6.43(+1)			
2,5-二甲基吡啶-1-氧化物	1.208(+1)			
2,6-二甲基吡啶(2,6-卢剔啶)	6.71(+1)			
2,6-二甲基吡啶-1-氧化物	1.366(+1)			
3,4-二甲基吡啶(3,4-卢剔啶)	6.47(+1)			
3,4-二甲基吡啶-1-氧化物	1.493(+1)			
3,5-二甲基吡啶(3,5-卢剔啶)	6.09(+1)			
3,5-二甲基吡啶-1-氧化物	1.181(+1)			
2,3-二甲基苯甲酸	3.771			
2,4-二甲基苯甲酸	4.217			
2,5-二甲基苯甲酸	3.990			
2,6-二甲基苯甲酸	3.362			
3,4-二甲基苯甲酸	4.41			
3,5-二甲基苯甲酸	4.302			
N,*N*-二甲基苯胺-4-膦酸(17℃)	2.0(+1)	4.2	7.39	
2,4-二甲基苯胺	4.89(+1)			
2,5-二甲基苯胺	4.53(+1)			
2,6-二甲基苯胺	3.95(+1)			
3,4-二甲基苯胺	5.17(+1)			
3,5-二甲基苯胺	4.765(+1)			
N,*N*-二甲基苯胺	5.15(+1)			
2,3-二甲基苯胺	4.70(+1)			
N,*N*-二甲基苄胺	9.02(+1)			
二甲(基)胺	10.77(+1)			
二甲基苯基硅烷基乙酸	5.27			
2,6-二甲基苯氧基乙酸	3.356			
2,4-二甲基苯酚	10.58			
2,5-二甲基苯酚	10.22			
2,6-二甲基苯酚	10.59			
3,4-二甲基苯酚	10.32			
3,5-二甲基苯酚	10.15			
2,3-二甲基苯酚	10.50			
5,5-二甲基-1,3-环己二酮	5.15			
顺-3,3-二甲基-1,2-环丙二甲酸	2.34	8.31		
反-3,3-二甲基-1,2-环丙二甲酸	3.92	5.32		
α,α-二甲基草酰乙酸	1.77	4.62		
5,5-二甲基海因	9.19			
二甲基金霉素(I=0.01mol·kg^{-1})	3.30(+1)			
1,2-二甲基哌啶	10.22			
2,6-二甲基哌啶,顺式	11.07(+1)			
2,5-二甲基哌啶	5.20	9.83		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
N,N'-二甲基哌嗪	4.630(+2)	8.539(+1)		
2,4-二甲基咪唑	8.38(+1)			
2,3-二甲基萘-1-甲酸	3.33			
2,6-二甲基-4-硝基苯酚	7.190			
3,5-二甲基-4-硝基苯酚	8.245			
二甲基羟基四环素	7.5	9.4		
2,4-二甲基-8-羟基喹啉	6.20(+1)	10.60(0)		
3,4-二甲基-8-羟基喹啉	5.80(+1)	10.05(0)		
2,4-二甲基-8-羟基喹啉-7-磺酸	8.20(NH^+)	10.14(OH)		
2,6-二甲基-4-氰基苯酚	8.27			
3,5-二甲基-4-氰基苯酚	8.21			
2,3-二甲基喹啉	4.94(+1)			
2,6-二甲基喹啉	5.46(+1)			
2,4-二甲基噻唑($I=0.1mol\cdot kg^{-1}$)	3.98			
2,5-二甲基噻唑($I=0.1mol\cdot kg^{-1}$)	3.91			
4,5-二甲基噻唑($I=0.1mol\cdot kg^{-1}$)	3.73			
二甲次胂酸(卞可基酸)	6.273			
二甲酚橙[$pK_5=10.46(-4)$;$pK_{16}=12.28(-5)$]	——	2.58(−1)	3.23(−2)	6.37(−3)
2-甲氨基嘌呤	4.00	10.24		
二亚丙基三胺	7.72(+3)	9.56(+2)	10.65(+1)	
二丙基丙二酸	2.04	7.51		
二异丙基丙二酸	2.124	8.848		
2,2-二丙基戊二酸	3.688	7.31		
二丙胺	10.91(+1)			
二苄丁二酸(20℃)	3.96	6.66		
二苄胺	8.52(+1)			
二苯乙醇酸	3.09			
二苯胺	0.9(+1)			
二苯基乙酸	3.939			
2,2-二苯基丁二酸,内消旋	3.48			
2,2-二苯基丁二酸,外消旋	3.58			
2,2-二苯基丁二酸,1-甲酯(20℃)	4.47			
2,2-二苯基丁二酸,4-甲酯(20℃)	3.900			
2,2-二苯基己二酸(20℃)	4.17	5.40		
3,3-二苯基己二酸	4.22	5.19		
2,2-二苯基壬二酸(20℃)	4.33	5.38		
2,2-二苯基戊二酸(20℃)	3.91	5.38		
2,2-二苯基庚二酸(20℃)	4.28	5.39		
1,3-二苯基胍	10.12			
二苯基硫代卡巴腙	4.50	15		
二苯基羟乙酸(35℃)	3.05			
二苯基酮亚胺	6.82			
二环己基胺	11.25(+1)			
二环戊基胺	10.93(+1)			
二氟乙酸	1.33			
3,3-二氟丙烯酸	3.17			
七氟代丁酸	0.17			
2,2,3,3,4,4,5,6-八氟戊酸	2.65			
4,4,5,5,6,6,6-七氟代己酸	4.18			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4,4,5,5,6,6,6-七氟代-2-己酸	3.23			
二氢可待因	8.75(+1)			
二氢吗啡	9.35			
二氢麦角诺文	7.38(+1)			
α-二氢麦角酸	3.57	8.45		
γ-二氢麦角酸	3.60	8.71		
α-二氢麦角醇	8.30			
β-二氢麦角醇	8.23			
二氢槟榔啶	9.70			
二氢槟榔啶甲酯	8.39			
1,4-二氮杂二环[2.2.2]辛烷	2.90(+2)	8.60(+1)		
2,3-二氮杂萘	3.47(+1)			
2,2'-二氨基二乙硫醚(30℃)	8.84(+2)	9.64(+1)		
1,8-二氨基-3,6-二硫辛烷(30℃)	8.43(+2)	9.31(+1)		
2,3-二氨基丙酸甲酯(I=0.1 mol·kg^{-1})	4.412(+1)	8.250(0)		
1,3-二氨基-2-丙醇(20℃)	7.93(+2)	9.69(+1)		
2,5-二氨基吡啶(20℃)	2.13(+2)	6.48(+1)		
2,7-二氨基辛烷二酸(20℃,I=0.1 mol·kg^{-1})	1.84(+2)	2.64(+1)	9.23(0)	9.89(−1)
1,8-二氨基-3,6-辛烷二酮(30℃)	8.60(+2)	9.57(+1)		
3,5-二氨基苯甲酸	5.30			
1,3-二氨基-2-氨甲基丙烷	6.44(+3)	8.56(+2)	10.38(+1)	
1,3-二氨基-N,N-二(2-氨乙基)丙烷(I=0.5mol·kg^{-1})	6.01(+4)	7.26(+3)	9.49(+2)	10.23(+1)
1,8-二氨基-3-氧杂-6-硫代辛烷(30℃)	8.54(+2)	9.46(+1)		
2,6-二氧代-1,2,3,6-四氢化-4-嘧啶羧酸(乳清酸)	1.8(+1)	9.55(0)		
二羟乙胺	8.88(+1)			
二(2-羟乙基)胺	8.8(+1)			
二羟乙酸	3.30(0)			
2,2-二(羟甲基)-3-羟基丙酸	4.460			
二羟基马来酸	1.10			
1,3-二羟基-2-甲基苯(I=0.65 mol·kg^{-1})	10.05	11.64		
2,4-二羟基-5-甲基嘧啶	9.90			
2,4-二羟基-6-甲基嘧啶	9.52			
1,4-二羟基-2,6-二硝基苯	4.42	9.14		
1,4-二羟基-2,3,5,6-四甲基苯(I=0.65 mol·kg^{-1})	11.25	12.70		
2,4-二羟基吡啶(20℃)	1.37(+1)	6.54(0)	13(−1)	
3,4-二羟基-3-环丁烯-1,2-二酮	0.541	3.480		
2,3-二羟基-2-环戊烯-1-酮(20℃)	4.72			
二羟基苹果酸	1.92			
1,3-二羟基苯(间苯二酚)	9.44(0)	12.32(−1)		
1,4-二羟基苯(氢醌)	9.91(0)	12.04(−1)		
4,5-二羟基苯-1,3-二磺酸	—	—	7.66(−2)	12.6(−3)
2,3-二羟基苯甲酸(30℃)	2.98	10.14		
2,4-二羟基苯甲酸(β-二羟基苯甲酸)	3.29	8.98		
2,5-二羟基苯甲酸	2.97	10.50		
2,6-二羟基苯甲酸	1.30			
3,4-二羟基苯甲酸	4.48	8.67	11.74	
3,5-二羟基苯甲酸	4.04			
2,5-二羟基-对-苯醌	2.71	5.18		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3,4-二羟基苯甲醛	7.55			
2,4-二羟基-1-苯偶氮苯(I=0.1mol・kg^{-1})	11.98			
1,4-二羟萘(26℃,I=0.65mol・kg^{-1})	9.37	10.93		
1,2-二羟基苯(焦儿茶酚)(I=0.1mol・kg^{-1})	9.356(0)	12.98(−1)		
二羟基酒石酸	1.95	4.00		
1,2-二羟基-3-硝基苯	6.68			
1,2-二羟基-4-硝基苯(I=0.1mol・kg^{-1})	6.701			
2,4-二羟基嘧啶	<1.3	7.92		
2,6-二羟基嘌呤	7.53(0)	11.84(−1)		
2,4-二羟基噁唑烷	6.11(+1)			
1,2-二羟基蒽醌-3-磺酸(茜素-3-磺酸)	—	5.54(−1)	11.01(−2)	
二烯丙基胺(I=0.02mol・kg^{-1})	9.29(+1)			
5,5-二烯丙基巴比土酸	7.78(0)			
二氯乙酸	1.26			
二氯乙酰乙酸	2.11			
1,3-二氯-2,5-二羟基苯(I=0.65mol・kg^{-1})	7.30	9.99		
2,5-二氯-3,6-二羟基对苯醌	1.09	2.42		
二氯甲基膦酸	1.14	5.61		
2,2-二氯丙酸	2.06			
2,3-二氯丙酸	2.85			
外消旋-2,3-二氯代丁二酸(20℃)	1.43	2.81		
内消旋-2,3-二氯代丁二酸	1.49	2.97		
3,6-二氯邻苯二甲酸	1.46			
3,5-二氯苯胺	2.37(+1)			
4,6-二氯苯氧基-2-甲基乙酸	3.13			
2,4-二氯苯氧基乙酸(2,4-D)	2.64			
2,3-二氯苯酚	7.44			
2,4-二氯苯酚	7.85			
2,6-二氯苯酚	6.78			
3,4-二氯苯酚	8.630			
3,5-二氯苯酚	8.179			
2,4-二氯-6-硝基苯胺	−3.00(+1)			
2,5-二氯-4-硝基苯胺	−1.74(+1)			
2,6-二氯-4-硝基苯胺	−3.31(+1)			
3,5-二氯对酪氨酸	2.12	6.47	7.62	
2,2-二氰乙基胺	5.14(+1)			
2,2-二氰基丙酸	−2.8			
二硝基甲烷(20℃)	3.60			
1,1-二硝基乙烷(20℃)	5.21			
1,1-二硝基丙烷	5.5			
1,1-二硝基丁烷(20℃)	5.90			
1,1-二硝基戊烷	5.337			
1,1-二硝基癸烷	3.60			
2,3-二硝基苯甲酸	1.85			
2,4-二硝基苯甲酸	1.43			
2,5-二硝基苯甲酸	1.62			
2,6-二硝基苯甲酸	1.14			
3,4-二硝基苯甲酸	2.82			
3,5-二硝基苯甲酸	2.85			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2,4-二硝基苯乙酸	3.50			
2,4-二硝基苯胺	−4.25(+1)			
2,6-二硝基苯胺	−5.23(+1)			
3,5-二硝基苯胺	0.229(+1)			
2,4-二硝基苯酚	4.08			
2,5-二硝基苯酚	5.216			
2,6-二硝基苯酚	3.713			
3,4-二硝基苯酚	5.424			
3,5-二硝基苯酚	6.732			
二硫代二乙酸(18℃)	3.075	4.201		
二硫代草酰胺(红氨酸)	10.89			
1,4-二硫赤藓糖醇	9.5			
1,12-二羧基十二烷基硼	9.07	10.23		
苏型-1,4-二巯基-2,3-丁二醇	8.9			
内消旋-2,3-二巯基-丁二酸	2.71	3.48	8.89(SH)	10.79(SH)
2,3-二溴丁二酸,外消旋(20℃)	1.43	2.24		
2,3-二溴丁二酸,内消旋(20℃)	1.51	2.71		
二溴代乙酸	1.39			
2,2-二溴丙酸	1.48			
2,3-二溴丙酸	2.33			
3,5-二溴苯胺	2.35(+1)			
3,5-二溴苯酚	8.056			
3,5-二碘苯胺	2.37(+1)			
2,5-二碘组胺	2.31(+2)	8.20(+1)	10.11(0)	
3,5-二碘(苯)酚	8.103			
马钱子碱	8.26			
1,2-丁二胺	6.399(+2)	9.388(+1)		
1,4-丁二胺	9.35(+2)	10.[illegible](+1)		
2,3-丁二胺	6.91(+2)	10.00(+1)		
丁二酮肟	10.60			
4-丁内铵盐(20℃)	3.94(+1)			
2-丁炔-1,4-二酸	1.75	4.40		
2-丁炔酸(丁炔酸)	2.620			
丁胂酸(18℃)	4.23	8.91		
丁胺	10.64(+1)			
异丁胺	10.41(+1)			
叔丁胺	10.685(+1)			
3-丁氧基苯甲酸(20℃)	4.25			
1,2,3,4-丁烷四甲酸	3.43	4.58	5.85	7.16
3-丁烯酸(乙烯基乙酸)	4.68			
异丁烯酸	4.66			
顺-2-丁烯酸(异巴豆酸)	4.44			
反-2-丁烯酸(反巴豆酸)(35℃)	4.676			
2-丁酰胺(仲丁胺)	10.56(+1)			
N-丁基乙烯二胺	7.53(+2)	10.30(+1)		
异丁基乙酸(18℃)	4.79			
丁基甲胺	10.90(+1)			
2-丁基-甲基-2-吡咯啉	11.84(+1)			
2-叔丁基吡啶	5.76(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-叔丁基吡啶	5.82(+1)			
4-叔丁基吡啶	5.99(+1)			
2,6-二叔丁基吡啶	3.58(+1)			
4-叔丁基苯乙酸	4.417			
2-叔丁基苯甲酸	3.57			
3-叔丁基苯甲酸	4.199			
4-叔丁基苯甲酸	4.389			
4-叔丁基苯胺	3.78(+1)			
N-叔丁基苯胺	7.10(+1)			
1-丁基胍啶(I=0.02mol·kg^{-1})	10.43(+1)			
叔丁基氢过氧化物	12.80			
1-(叔丁基)-2-羟基苯	10.62			
1-(叔丁基)-3-羟基苯	10.119			
1-(叔丁基)-4-羟基苯	10.23			
2-叔丁基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	3.00(+1)			
4-叔丁基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	3.04(+1)			
丁基次膦酸	3.41			
叔丁基次膦酸	4.24			
叔丁基膦酸	2.79	8.88		
丁酸	4.817			
三乙胺	10.72(+1)			
三亚乙基二胺	4.18(+2)	8.19(+1)		
三亚乙基四胺(20℃)	3.32(+4)	6.67(+3)	9.20(+2)	9.92(+1)
三乙基琥珀酸	2.74			
三乙酰基甲烷	5.81			
三乙醇胺[俗];三(羟乙基)胺	7.76(+1)			
三异丁胺	10.42(+1)			
2,3,4-三甲苯酚	10.59			
2,4,5-三甲苯酚	10.57			
2,4,6-三甲苯酚	10.88			
3,4,5-三甲苯酚	10.25			
2,3,6-三甲基吡啶(I=0.5mol·kg^{-1})	7.60(+1)			
2,4,6-三甲基吡啶	7.43(+1)			
2,4,6-三甲基吡啶-1-氧化物	1.990(+1)			
3-(三甲氨基)苯酚	8.06			
4-(三甲氨基)苯酚	8.35			
2,4,6-三甲基苯甲酸	3.448			
2,4,6-三甲基苯胺	4.38(+1)			
三甲基胺	9.80(+1)			
3-(三甲基硅)苯甲酸	4.089			
4-(三甲基硅)苯甲酸	4.192			
三(三甲基硅)胺	4.70(+1)			
2,4,5-三甲基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	4.55			
三丙胺	10.66(+1)			
三苯基乙酸	3.96			
三氟乙酸	0.50			
4,4,4-三氟丁酸	4.16			
5-三氟甲基-1,2,3,4-四唑	1.70			
3-(三氟甲基)苯胺	3.5(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-(三氟甲基)苯胺	2.6(+1)			
3-三氟甲基苯酚	8.950			
α,α,α-三氟间甲酚	8.950			
3,3,3-三氟丙酸	3.06			
三氟丙烯酸	1.79			
5,5,5-三氟戊酸	4.50			
4,4,4-三氟巴豆酸	3.15			
4,4,4-三氟苏糖酸	1.554(+1)	7.822(0)		
1*H*-1,2,3-三唑	—	9.26		
1*H*-1,2,4-三唑	2.386(+1)	9.972		
1,2,3-三唑-4-羧酸	3.22	8.73		
1,2,3-三唑-4,5-二羧酸	1.86	5.90	9.30	
1,2,4-三唑烷-3,5-二酮(尿唑)	5.80			
三(2-羟乙基)胺	7.762(+1)			
3-[三(羟甲基)甲氨基]-1-丙磺酸(TAPS)(20℃)	8.4			
2-[三(羟甲基)甲氨基]-1-乙磺酸(TES)	7.50			
2,4,6-三(羟甲基)苯酚	9.56			
三(羟甲基)氨基甲烷(TRIS)	8.08(+1)			
N-[三(羟甲基)甲基]甘氨酸	2.023(+1)	8.135		
1,2,3-三羟基苯(焦棓酚)	9.03(0)	11.63(−1)		
1,3,5-三羟基苯(间苯三酚)	8.45(0)	8.88(−1)		
2,4,6-三羟基苯甲酸	1.68(0)			
3,4,5-三羟基苯甲酸	4.19(0)	8.85(−1)		
3,4,5-三羟基环己-1-烯-羧酸[*D*-(−)-莽草酸]	4.15			
三烯丙基胺	8.31(+1)			
三氯乙酸	0.52			
三氯甲基膦酸	1.63	4.81		
三氯代丙烯酸	1.15			
2,4,5-三氯苯酚	7.37			
3,4,5-三氯苯酚	7.839			
3,3,3-三氯乳酸	2.34			
三硫代碳酸(20℃)	2.64			
2,2,2-三硝基乙醇	2.36			
三硝基甲烷(20℃)	0.17			
2,4,6-三硝基苯胺(苦酰胺)	−10.23(+1)			
2,4,6-三硝基苯甲酸	0.654			
三溴乙酸	−0.147			
2,4,6-三溴苯甲酸	1.41			
1,3,5-三嗪-2,4,6-三醇	7.20	11.10		
卫矛(己六)醇;半乳糖醇	13.46			
马来酸	1.910	6.33		
L-马钱子碱(15℃)	2.50	8.20		
D-山梨(糖)醇(17.5℃)	13.60			
L-(−)-山梨糖(18℃)	11.55			
小檗碱(18℃)	11.73(+1)			
1,6-己二胺	9.830(+2)	10.930(+1)		
2,4-己二烯酸(山梨酸)	4.77			
2,4-己二酮	8.49(烯醇) 9.32(酮基)			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
己二酸	4.418	5.412		
1,6-己二酸	4.418	5.412		
己二酸单酰胺(5-羧基-戊酰胺)	4.629			
己胂酸	4.16	9.19		
己胺	10.64(+1)			
反-2-己烯酸	4.74			
反-3-己烯酸	4.72			
3-己烯-4-羧酸	4.58			
4-己烯-5-羧酸	4.74			
己酸(20℃)	4.849			
己膦酸	2.6	7.9		
六甲基二硅氮烷	7.55			
1,2,3,8,9,10-六甲基-4,7-菲咯啉(20℃)	7.26			
1,1,1,3,3,3-六氟-2,2-丙二醇	8.801			
1,1,1,3,3,3-六氟-2-丙醇	9.42			
六氢化吖庚因	11.07			
2,2′,4,4′,6,6′-六硝基二苯胺	5.42(+1)			
天仙子胺	9.68(+1)			
L-(+)-天冬酰胺		8.80(0)		
异天冬酰胺	2.97(+1)	8.02(0)		
天冬氨氨酰氨($I=0.2\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$)				
可可碱	7.89			
1,1-双乙酸氨基脲(30℃,$I=0.1\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$)	2.96	4.04		
双十二烷胺	10.99(+1)			
2,2′-双亚氨基咪唑($I=0.3\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$)	5.01(+1)			
双乳酸	2.995			
双胍	2.96(+2)	11.51(+1)		
N,*N*′-双(2-氨乙基)乙二胺(20℃)	3.32(+4)	6.67(+3)	9.20(+2)	9.92(+1)
双(2-氨乙基)醚(30℃)	8.62(+2)	9.59(+1)		
N,*N*-双(2-羟乙基)-2-氨基乙磺酸(20℃)(BES)	7.15			
N,*N*-双(2-羟乙基)甘氨酸[N-二(羟乙基)甘氨酸](20℃)	8.35			
双(2-羟乙基)亚氨基三(羟甲基)甲烷(2—3)	6.46(+1)			
D-(+)-木糖	12.15(0)			
1,9-壬烷二酸(壬二酸)	4.53	5.40		
壬酸	4.95			
毛果芸香碱	1.3(+1)	6.85(0)		
异毛果芸香碱(15℃)	7.18(+1)			
巴比土酸		8.372(0)		
乌头碱	8.11(+1)			
四亚乙基五胺[$I=0.1\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$,$pK_5=9.67(+1)$]	2.98(+5)	4.72(+4)	8.08(+3)	9.10(+2)
N,*N*,*N*′,*N*′-四甲基乙二胺	2.20(+2)	6.35(+1)		
四亚甲基二胺	9.22(+2)	10.75(+1)		
四亚甲基双(硫代乙酸)(18℃)	3.463	4.423		
2,3,5,6-四甲基-4-甲氨基吡啶	0.07(+1)			
2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	7.90(+1)			
2,3,5,6-四甲基苯甲酸	3.415			
四环素	3.10(+1)	7.26	9.11	
四环素($I=0.005\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$)	3.30(+1)	7.68	9.69	
2,2,6,6-四甲基哌啶($I=0.5\mathrm{mol\cdot kg^{-1}}$)	1.24(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
四甲基琥珀酸	3.50	7.28		
1,4,5,6-四氢化-1,2-二甲基吡啶	11.38(+1)			
1,4,5,6-四氢化-2-甲基吡啶	9.53(+1)			
四氢化蛇根碱	10.55(+1)			
反-四氢化萘-2,3-二羧酸(20℃)	4.00	5.70		
顺-四氢化萘-2,3-二羧酸(20℃)	3.98	6.47		
5,6,7,8-四氢化-1-萘酚	10.28			
5,6,7,8-四氢化-2-萘酚	10.48			
四脱氢育亨宾	10.59(+1)			
1,2,3,4-四唑	4.90			
邻甲基乙酸(18℃)	4.36			
对甲苯乙酸(18℃)	4.36			
邻甲苯胂酸	3.82	8.85		
间甲苯胂酸	3.82	8.60		
对甲苯胂酸	3.70	8.68		
邻甲苯胺	4.45(+1)			
间甲苯胺	4.71(+1)			
对甲苯胺	5.08(+1)			
邻甲(苯)酚	10.26			
间甲(苯)酚	10.00			
对甲(苯)酚	10.26			
邻甲苯硫酚	6.64			
间甲苯硫酚	6.58			
对甲苯硫酚	6.52			
3-甲苯基硒酸	4.80			
4-甲苯基硒酸	4.88			
对甲苯亚磺酸	1.7			
邻甲苯膦酸	2.10	7.68		
间甲苯膦酸	1.88	7.44		
对甲苯膦酸	1.84	7.33		
甲胂酸(18℃)	3.41	8.18		
甲胺	10.62(+1)			
2-(2-甲氨乙基)吡啶(30℃)	3.58(+2)	9.65(+1)		
2-(甲氨基)乙醇	9.88(+1)			
甲氨基二乙酸(20℃)	2.146	10.088		
2-(甲氨基甲基)吡啶(30℃)	2.92(+2)	8.82(+1)		
2-(甲氨基甲基)-6-甲基吡啶(I=0.5mol·kg^{-1})	3.03(+2)	9.15(+1)		
4-甲氨基-3-甲基吡啶(20℃)	9.83(+1)			
3-(甲氨基)吡啶(30℃)	8.70(+1)			
4-(甲氨基)吡啶(20℃)	9.65(+1)			
4-(甲氨基)-2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	10.06(+1)			
2-(N-甲氨基)苯甲酸	1.93(+1)	5.34(0)		
3-(N-甲氨基)苯甲酸	—	5.10(0)		
4-(N-甲氨基)苯甲酸	—	5.05		
(3-甲氨基)苯膦酸	1.1(+1)	4.72(+1)	7.30(−1)	
(4-甲氨基)苯膦酸	—	—	7.85(−1)	
2-甲氧基乙胺	9.45(+1)			
2-(N-甲氧基乙酰氨基)吡啶	2.01(+1)			
3-(N-甲氧基乙酰氨基)吡啶	3.52(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-(*N*-甲氧基乙酰氨基)吡啶	4.62(+1)			
甲氧基乙酸	3.570			
3-甲氧基-*D*-α-丙氨酸	2.037(+1)	9.176(0)		
2-甲氧基-4-(2-丙烯基)苯酚	10.0			
N,*N*-甲氧基苄胺	9.68(+1)			
反-2-甲氧基肉桂酸	4.462			
反-3-甲氧基肉桂酸	4.376			
反-4-甲氧基肉桂酸	4.539			
2-甲氧基吡啶	3.06(+1)			
3-甲氧基吡啶	4.91(+1)			
4-甲氧基吡啶	6.47(+1)			
4-甲氧基苯乙酸	4.358			
2-甲氧基苯甲酸	4.09			
3-甲氧基苯甲酸	4.08			
4-甲氧基苯甲酸	4.49			
2-甲氧基苯胺	4.53(+1)			
3-甲氧基苯胺	4.20(+1)			
4-甲氧基苯胺	5.36(+1)			
(2′-甲氧基)苯氧基乙酸	3.231			
(3′-甲氧基)苯氧基乙酸	3.141			
(4′-甲氧基)苯氧基乙酸	3.213			
2-甲氧基苯酚	9.99			
3-甲氧基苯酚	9.652			
4-甲氧基苯酚	10.20			
2-甲氧基-4-硝基苯膦酸	1.53	6.96		
甲氧基羰基甲胺	7.66(+1)			
2-甲氧基羰基吡啶	2.21(+1)			
3-甲氧基羰基吡啶	3.13(+1)			
4-甲氧基羰基吡啶	3.26(+1)			
2-甲氧基羰基苯胺	2.23(+1)			
3-甲氧基羰基苯胺	3.64(+1)			
4-甲氧基羰基苯胺	2.38(+1)			
4-甲氧基-2-(2′-噻唑偶氮)苯酚	7.83			
3-(2′-甲氧苯基)丙酸	4.804			
3-(3′-甲氧苯基)丙酸	4.654			
3-(4′-甲氧苯基)丙酸	4.689			
3-甲氧苯基硒酸	4.65			
4-甲氧苯基硒酸	5.05			
(4-甲氧苯基)次膦酸(17℃)	2.35			
(2-甲氧苯基)膦酸	2.16	7.77		
(4-甲氧苯基)膦酸(17℃)	2.4	7.15		
N-甲基乙胺	4.23(+1)			
N-甲基亚乙基二胺	6.86(+2)	10.15(+1)		
4-甲基-2-2′-二(4-甲基吡啶基)吡啶	5.32(+1)			
5-甲基二亚丙基三氨(30℃)	6.32(+3)	9.19(+2)	10.33(+1)	
2-甲基-3,5-二硝基苯甲酸	2.97			
2-甲基丁酸	4.761			
3-甲基丁酸(20℃)	4.767			
3-甲基-2-丁烯酸	5.12			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
(*E*)-2-甲基-2-丁烯酸(惕各酸)	4.96			
(*Z*)-2-甲基-2-丁烯酸(当归酸)	4.30			
2-甲基-2-丁硫醇	11.35			
(*E*)-2-甲基-2-丁烯二酸(中康酸)	3.09	4.75		
5-甲基-2,4-己二酮	8.66(烯醇) 9.31(酮)			
5-甲基-4-己烯酸	4.80			
1-甲基-1,2,3,4-四氢化-3-吡啶羧酸(槟榔啶;异四氢烟酸)	9.07			
5-甲基-1,2,3,4-四唑	3.32			
甲基双胍	3.00(+2)	11.44(+1)		
1-甲基巴比妥酸	4.35(+1)			
5-甲基巴比妥酸	3.386(+1)			
2-(*N*-甲基甲烷亚磺酰氨基)吡啶	1.73(+1)			
3-(*N*-甲基甲烷亚磺酰氨基)吡啶	3.94(+1)			
4-(*N*-甲基甲烷亚磺酰氨基)吡啶	5.14(+1)			
2-甲基-6-甲氨基吡啶(20℃)	3.17(+1)	8.84(0)		
3-甲基-4-甲氨基,吡啶(20℃)	—	9.84(0)		
N-甲基亚氨基二乙酸	2.15	10.09		
2-甲基-1,2-丙二胺	6.178(+2)	9.420(+1)		
甲基丙二酸	3.07	5.87		
2-甲基-2-丙胺	10.682(+1)			
2-甲基丙烯酸(18℃)	4.66			
2-甲基丙酸	4.853			
2-甲基-2-丙基戊二酸	3.626			
2-甲基-2-丙硫醇	11.2			
3-甲基戊二酸	4.25	5.41		
3-甲基戊烷-2,4-二酮	10.87			
顺-3-甲基-2-戊烯酸	5.15			
反-3-甲基-2-戊烯酸	5.13			
4-甲基-2-戊烯酸	4.70			
4-甲基-3-戊烯酸	4.60			
2-甲基戊酸	4.782			
3-甲基戊酸	4.766			
4-甲基戊酸	4.845			
N-甲基吗啉	7.13(+1)			
(*E*)-2-甲基肉桂酸	4.500			
(*E*)-3-甲基肉桂酸	4.442			
(*E*)-4-甲基肉桂酸	4.564			
2-甲基吡啶	5.96(+1)			
3-甲基吡啶	5.68(+1)			
4-甲基吡啶	6.00(+1)			
2-甲基吡啶-1-氧化物	1.029(+1)			
3-甲基吡啶-1-氧化物	0.921(+1)			
4-甲基吡啶-1-氧化物	1.258(+1)			
6-甲基吡啶-2-羧酸	5.83			
甲基-2-吡啶基(甲)酮肟	9.97			
1-甲基-2-(3-吡啶基)吡咯烷	3.41	7.94		
1-甲基吡咯烷	10.46(+1)			
1-甲基-3-吡咯啉	9.88(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
邻甲基吡哆醛(I=0.16mol·kg^{-1})	4.74			
3-甲基邻苯二甲酸	3.18			
4-甲基邻苯二甲酸	3.89			
2-甲基苯甲酸(邻甲苯甲酸)	3.90			
3-甲基苯甲酸	4.269			
4-甲基苯甲酸	4.362			
3-(N-甲基苯甲酰氨基)吡啶	3.66(+1)			
4-(N-甲基苯甲酰氨基)吡啶	4.68(+1)			
2-(N-甲基苯甲酰氨基)吡啶	1.44(+1)			
N-甲基-1-苯甲酰芽子碱	8.65			
2-甲基苯并咪唑(I=0.16mol·kg^{-1})	6.29(+1)			
N-甲基苯胺	4.85(+1)			
5-甲基-1-苯基-1,2,3-三唑-4-羧酸	3.73			
5-甲基-5-苯基巴比土酸	8.011(0)			
3-(2-甲基苯基)丙酸	4.66			
3-(3-甲基苯基)丙酸	4.677			
3-(4-甲基苯基)丙酸	4.684			
1-甲基-2-苯基吡咯烷	8.80			
(2-甲基苯氧基)乙酸	3.227			
(3-甲基苯氧基)乙酸	3.203			
(4-甲基苯氧基)乙酸	3.215			
(2-甲基苯基)乙酸(18℃)	4.35			
(4-甲基苯基)乙酸	4.370			
5-甲基-2,4-庚二酮	8.52(烯醇) 9.10(酮)			
3-甲基组胺	5.80(+1)	9.90(0)		
3-甲基环己基-1,1-二乙酸	3.49	6.08		
4-甲基环己基-1,1-二乙酸	3.49	6.10		
3-甲基环戊烯基-1,1-二乙酸	3.79	6.74		
2-甲基环己烷-1,1-二乙酸	3.53	6.89		
1-甲基环己烷-1-羧酸	5.13			
顺-甲基环己烷-1-羧酸	5.03			
反-2-甲基环己烷-1-羧酸	5.73			
顺-3-甲基环己烷-1-羧酸	4.88			
反-3-甲基环己烷-1-羧酸	5.02			
顺-4-甲基环己烷-1-羧酸	5.04			
反-4-甲基环己烷-1-羧酸	4.89			
N-甲基哌啶	10.19(+1)			
2-甲基哌啶	10.95(+1)			
3-甲基哌啶	11.07(+1)			
4-甲基哌啶(I=0.5mol·kg^{-1})	11.23(+1)			
N-甲基哌嗪(I=0.1mol·kg^{-1})	4.94(+2)	9.09(+1)		
2-甲基哌嗪	5.62(+2)	9.60(+1)		
6-甲基-1,10-菲咯啉	5.11(+1)			
N-甲基胞苷	3.88			
5-甲基胞苷	4.21			
1-甲基咪唑	7.06(+1)			
4-甲基咪唑	7.55(+1)			
N-甲基-2′-脱氧胞苷	3.97			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
5-甲基-2′-脱氧胞苷	4.33			
2-甲基-1-萘甲酸	3.11			
N-甲基-1-萘胺	3.70(+1)			
1-甲基黄嘌呤	7.70	12.0		
3-甲基黄嘌呤	8.10	11.3		
7-甲基黄嘌呤	8.33	约 13		
9-甲基黄嘌呤	6.25			
1-甲基-2-硝基对苯二酸	3.11			
4-甲基-2-硝基对苯二酸	1.82			
2-甲基-4-硝基苯甲酸	1.86			
2-甲基-6-硝基苯甲酸	1.87			
5-甲基硫代-1,2,3,4-四唑	4.00(+1)			
2-甲基硫代吡啶(20℃)	3.59(+1)			
3-甲基硫代吡啶(20℃)	4.42(+1)			
4-甲基硫代吡啶(20℃)	5.94(+1)			
3-(*S*-甲基硫代)苯酚	9.53			
4-(*S*-甲基硫代)苯酚	9.53			
S-甲基异硫脲	9.83(+1)			
邻甲基异脲	9.72(+1)			
5-甲基喹啉	4.62(+1)			
2-甲基-8-羟基喹啉(I=0.005mol·kg^{-1})	4.58(+1)	11.71(0)		
4-甲基-8-羟基喹啉	4.67(+1)	11.62(0)		
甲基琥珀酸	4.13	5.64		
α-甲基葡萄糖苷	13.71			
4-甲基羧基苯酚	8.47			
2-甲基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	3.40(+1)			
4-甲基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	3.16(+1)			
5-甲基噻唑(I=0.1mol·kg^{-1})	3.03(+1)			
3-甲基磺酰基苯酚	9.33			
4-甲基磺酰基苯酚	7.83			
甲基膦酸	2.38	7.74		
甲基次膦酸	3.08			
甲硫醇	10.70			
2-甲硫基乙胺(30℃)	9.18(+1)			
甲巯基乙酸	7.68			
甲硫基乙酸	3.72			
4-甲硫基苯胺	4.40(+1)			
2-甲酰-3-甲基吡啶(20℃)	3.89(+1)	12.95		
4-甲酰-3-甲氧基吡啶(20℃)	4.45(+1)	11.7		
2-甲酰-3-羟基吡啶(20℃)	3.40(+1)	6.95(OH)		
4-甲酰-3-羟基吡啶	4.05(+1)	6.77(OH)		
甲酸	3.751	6.77(OH)		
甲磺酰基乙酸	2.36			
4-(甲磺酰基)-3,5-二甲基苯酚	8.13			
3-(甲磺酰基)苯甲酸	3.52			
4-(甲磺酰基)苯甲酸	3.64			
3-(甲磺酰基)苯胺	2.68(+1)			
4-(甲磺酰基)苯胺	1.48(+1)			
1,2-丙二胺	6.607(+2)	9.720(+1)		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
1,3-丙二胺	8.49(+2)	10.47(+1)		
丙二酸	2.826	5.696		
丙二酸单酰胺	3.641(0)			
丙二酸氢乙酯	3.55			
丙二酰脲	4.01			
1,2,3-丙三胺	3.72(+3)	7.95(+2)	9.59(+1)	
1,2,3-丙三羧酸	3.67	4.87	6.38	
2-丙炔酸	1.887			
丙胂酸(18℃)	4.21	9.09		
丙胺	10.568(+1)			
异丙胺	10.64(+1)			
2-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.24			
3-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.20			
4-丙氧基苯甲酸(20℃)	4.78			
2-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.24			
3-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.15			
4-(异丙氧基)苯甲酸(20℃)	4.68			
异丙基巴比土酸	4.907(+1)			
丙基丙二酸	2.97	5.84		
异丙基丙二酸	2.94	5.88		
异丙基丙二酸-腈	2.401			
3-异丙基-4-(甲氨基)吡啶(20℃)	9.96(+1)			
3-异丙基戊二酸	4.30	5.51		
亚丙基亚胺	8.18(+1)			
2-丙基吡啶	6.30(+1)			
2-异丙基吡啶	5.83(+1)			
3-异丙基吡啶(20℃)	5.72(+1)			
4-异丙基吡啶	6.02(+1)			
4-异丙基苯乙酸	4.391			
N-丙基苯胺	2.21(+1)	10.19(0)		
N-异丙基苯胺	5.50(+1)			
2-异丙基苯甲酸	3.64			
4-异丙基苯甲酸	4.36			
DL-异丙基肾上腺素	8.64(+1)			
丙基膦酸	2.49	8.18		
异丙基膦酸	2.66	8.44		
丙基次膦酸	3.46			
异丙基次膦酸	3.56			
N-丙基藜芦胺	7.20(+1)			
丙烯酸	4.26			
1-丙硫醇	10.86			
丙腈酸(氰基乙酸)	2.460			
丙酮肟	12.2			
丙酸	4.874			
1,5-戊二胺	10.05(+2)	10.916(+1)		
戊二酸	3.77	6.08		
戊二酸单酰胺	4.600(0)			
戊二酰亚胺	11.43			
2,4-戊二酮	8.24(烯醇)			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
	8.95(酮基)			
戊肿酸	4.14	9.07		
反戊烯二酸	3.77	5.08		
2-戊烯酸	4.70			
3-戊烯酸	4.52			
4-戊烯酸	4.677			
1-戊酸(戊酸)	4.842			
N-戊藜芦胺	7.28(+1)			
甘油	14.15			
DL-甘油酸	3.64			
甘油基-1-磷酸	……	6.656(−1)		
甘油基-2-磷酸	1.335(0)	6.650(−1)		
D-(+)-甘露糖	12.08			
鸟苷-5′-二磷酸(I=0.1mol·kg^{-1},pK_5=9.6)	……	……	2.9	6.3
鸟苷-5′-三磷酸[I=0.1mol·kg^{-1},pK_5=7.10(−3);pK_6=9.3(−4)]	……	……	……	3.0(−2)
鸟苷-3′-磷酸	0.7	2.3	5.92	9.38
鸟苷-5′-二磷酸(I=0.1mol·kg^{-1})	—	2.4	6.1	9.4
鸟(嘌呤核)苷	1.9(+1)	9.25(0)	12.33(OH)	
白毛茛碱	6.23(+1)			
白坚木碱				
可可碱;3,7-二甲基黄嘌呤	0.68(+1)	7.89		
可待因	7.95(+1)			
D-(+)-半乳糖	12.35			
半乳糖-1-磷酸	1.00	6.17		
肌苷-5′-三磷酸[pK_5=7.68(−4)]			2.2(−2)	6.92(−3)
肌苷-5′-磷酸	1.54(0)	6.66(−1)		
肌氨酸二甲基酰胺	8.86(+1)			
肌酸(40℃)	3.28(+1)			
异肌酸	2.84(+1)			
肌酸酐	3.57(+1)			
1,2-亚乙基二醇	14.22			
2,2′-亚甲基双(4-氯酚)	7.6	11.5		
2,2′-亚甲基双(4,6-二氯酚)	5.6	10.65		
亚甲基双(硫代乙酸)(18℃)	3.310	4.345		
亚甲基琥珀酸	3.85	5.45		
亚丙基双(硫代乙酸)(18℃)	3.435	5.383		
1,5-亚戊基双(硫代乙酸)(18℃)	3.485	4.413		
3,3-亚戊基戊二酸	3.49	6.96		
3,3′-亚氨基二丙酸	4.11(0)	9.61(−1)		
3,3′-亚氨基二丙胺(30℃)	8.02(+2)	9.70(+1)	10.70(0)	
2,2′-亚氨基二乙酸(二甘氨酸)(30℃,I=0.1mol·kg^{-1})	2.54(0)	9.12(−1)		
N-亚硝基亚氨基二乙酸	2.28	3.38		
4-亚硝基苯酚	6.48			
1-亚硫酰羧酸	3.53			
2-亚硫酰羧酸	4.10			
顺肉桂酸	3.879			
反肉桂酸	4.438			
次咕吨	1.79(+1)	8.91(0)	12.07(−1)	

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
次黄嘌呤	5.3			
次黄(嘌呤核)苷,肌苷	约 1.5(+1)	8.96(0)	12.36	
次氮基三乙酸(NTA)(20℃)	1.65	2.94	10.33	
衣康酸	3.85	8.45		
过氧乙酸	8.20			
羊毛铬黑 T	6.3(+1)	11.55		
吐根碱	7.36(+1)	8.23(0)		
那可汀	6.18(+1)			
那碎因(15℃)	3.5(+1)	9.3		
全氢化二苯酚(20℃)	4.96	6.68		
DL-后马托品	9.7(+1)			
米喹斯明[$C_9H_{10}N_2$]	5.26			
血管紧张肽 II				
安替比林				
β-优卡因	9.35(+1)			
吖啶	5.60(+1)			
吗啡(20℃)	7.87(+1)	9.85(0)		
吗啉	8.492(+1)			
2-(N-吗啉代)乙基磺酸(MES)(20℃)	6.15			
3-(N-吗啉代)-2-羟基(丙)磺酸(37℃)	6.75			
3-(N-吗啉代)丙磺酸(20℃)	7.20			
吡啶	5.17(+1)			
吡啶-d_5	5.83(+1)			
吡啶-2,3-二羧酸	2.36(+1)	7.08(0)		
吡啶-2,4-二羧酸	2.23(+1)	7.02(0)		
吡啶-2,6-二羧酸	2.16(+1)	6.92(0)		
2-吡啶甲醛	3.84(+1)			
3-吡啶甲醛	3.80(+1)			
4-吡啶甲醛	4.74(+1)			
2-吡啶甲醛肟	3.42(+1)	10.22(0)		
3-吡啶甲醛肟	4.07(+1)	10.39(0)		
4-吡啶甲醛肟	4.73(+1)	10.03(0)		
3-(2′-吡啶基)丙氨酸	1.37(+2)	4.02(+1)	9.22(0)	
3-(3′-吡啶基)丙氨酸	1.77(+2)	4.64(+1)	9.10(0)	
2-(2′-吡啶基)苯并咪唑(I=0.16mol·kg^{-1})	5.58(+1)			
2-(2′-吡啶基)咪唑(I=0.005mol·kg^{-1})	8.98(+1)			
4-(2′-吡啶基)咪唑(I=0.1mol·kg^{-1})	5.49(+1)			
吡啶-1-氧化物	0.688(+1)			
3-吡啶脲(烟酰亚胺)	3.33(+1)			
3-吡啶腈	1.35(+1)			
3-吡啶羧酸乙酯	3.35(+1)			
4-吡啶羧酸乙酯	3.45(+1)			
4-吡啶羧酸甲酯	3.26(+1)			
吡啶-2-羧酸(吡啶甲酸)	1.01(+1)	5.29(0)		
吡啶-3-羧酸(烟酸)	2.07(+1)	4.75(0)		
吡啶-4-羧酸(异烟酸)	1.84(+1)	4.86(0)		
吡咯烷	11.305(+1)			
吡咯烷-2-羧酸(脯氨酸)	1.952(+1)	10.640(0)		
2-[2-(N-吡咯烷基)乙基]吡啶	3.60(+2)	9.39(+1)		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-[2-(*N*-吡咯烷基)乙基]吡啶	4.28(+2)	9.28(+1)		
4-[2-(*N*-吡咯烷基)乙基]吡啶	4.65(+2)	9.27(+1)		
2-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	2.54(+2)	8.56(+1)		
3-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	3.14(+2)	8.36(+1)		
4-(1-吡咯烷基甲基)吡啶	3.38(+2)	8.16(+1)		
3-吡咯啉	−0.27(+1)			
吡咯酰胺	11.11(+1)			
吡咯-1-羧酸	4.45			
吡咯-2-羧酸	4.45			
吡咯-3-羧酸	4.453			
吡哆胺;维生素 B_6(I=0.1mol·kg^{-1})	3.37(+2)	8.01(+1)	10.13(环 OH)	
吡哆胺-5-磷酸盐(I=0.15mol·kg^{-1};pK_5=10.92)	2.5	3.69	5.76	8.61
吡哆素(维生素 B_6)(18℃)	5.00(+1)	8.96(环 OH)		
吡哆醛;维生素 B_6	4.20(+1)	8.66(环 OH)		
吡哆醛-5-磷酸盐(I=0.15mol·kg^{-1})	<2.5	4.14	6.20	8.69
吡唑	2.61(+1)			
吡嗪	0.6(+1)			
吡嗪羧基酰胺	0.5(+1)			
吩嗪	1.2(+1)			
2-呋喃甲酸(2-糠酸)	3.164			
α-D-呋喃核糖	12.11			
辛可宁	5.85(+2)	9.92(+1)		
1,8-辛烷二酸(辛二酸)	4.512	5.404		
辛胺	10.65(+1)			
辛酸	4.895			
谷胱甘肽	2.12(+1)	3.53(0)	8.66	9.12
芸香碱	6.87			
苄胺	9.35(+1)			
苄胺-4-羧酸	3.59	9.64		
苄基丁二酸(20℃)	4.11	5.65		
2-苄基吡啶	5.13(+1)			
4-卡基吡啶-1-氧化物	−1.018(+1)			
1-苄基吡咯烷	9.51(+1)			
2-苄基吡咯烷	10.31(+1)			
2-苄基-2-苯基丁二酸(20℃)	3.69	6.47		
3-(苄硫基)丙酸	4.463			
阿米德里卡因		9.5(+1)		
阿尿酸	6.64			
阿朴吗啡(15℃)		8.92		
D-(−)-阿(拉伯)糖				
尿苷	9.30			
尿苷-5′-二磷酸	7.16			
尿苷-5′-三磷酸	7.58			
尿苷-5′-磷酸(5′-尿苷酸)	6.63			
尿酸	5.40	5.53		
尿囊素	8.96			
芽子碱	10.91			
α-D-来苏糖	12.11			
妥卢氢醌	10.03	11.62		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
L-(+)-抗坏血酸(维生素C)		11.82		
麦角酸	3.44(+1)	7.68(0)		
异麦角酸	3.33(0)	8.46(NH)		
麦黄酮(20℃)	8.15			
麦角异新碱	7.32(+1)			
麦角诺文	6.73(+1)			
环丁基羧酸	4.785			
1,1-环丁二羧酸	3.13	5.88		
顺-1,2-环丁二羧酸	3.90	5.89		
反-1,2-环丁二羧酸	3.79	5.61		
顺-1,3-环丁二羧酸	4.04	5.31		
反-1,3-环丁二羧酸	3.81	5.28		
顺-1,2-环己二羧酸(20℃)	4.34	6.76		
反-1,2-环己二羧酸(20℃)	4.18	5.93		
顺-1,3-环己二羧酸(16℃)	4.10	5.46		
反-1,3-环己二羧酸(19℃)	4.31	5.73		
反-1,4-环己二羧酸(16℃)	4.18	5.42		
顺-1,2-环己二胺	6.43(+2)	9.93(+1)		
反-1,2-环己二胺	6.34(+2)	9.74(+1)		
1,3-环己二酮	5.26			
顺,顺-1,3,5-环己三胺	6.9(+3)	8.7(+2)	10.4(+1)	
环己(酮)亚胺	9.15			
环己胺	10.64(+1)			
2-(环己氨基)乙磺酸(20℃)(CHES)	9.55			
3-环己氨基-1-丙磺酸(20℃)(CAPS)	10.40			
顺-4-环己烯-1,2-二羧酸(20℃)	3.89	6.79		
反-4-环己烯-1,2-二羧酸(20℃)	3.95	5.81		
环己基乙酸	4.51			
1,1-环己基二乙酸	3.49	6.96		
顺-1,2-环己基二乙酸(20℃)	4.42	5.45		
反-1,2-环己基二乙酸(20℃)	4.38	5.42		
1,1-环己基二羧酸	3.45	4.11		
1,2-亚环己基二次氨基乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.4	3.5	6.16	12.35
4-环己基丁酸	4.95			
3-环己基丙酸	4.91			
2-环己基吡咯烷	10.76(+1)			
2-环己基-2-吡咯啉	7.91(+1)			
环己基硫代乙酸	3.488			
环己基氰乙酸	2.367			
环己基羧酸	4.90			
环丙烷甲酸	4.827			
环丙烷-1,1-二甲酸	1.82	5.43		
顺环丙烷-1,2-二甲酸	3.33	6.47		
反环丙烷-1,2-二甲酸	3.65	5.13		
5-环丙基-1,2,3,4-四唑	4.90(+1)			
环丙基胺	9.10(+1)			
环戊甲酸	4.905			
环戊烷-1,2-二胺-N,N,N',N'-四乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	—	—	—	10.20
顺环戊烷-1-甲酸-2-乙酸	4.40	5.79		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
反-环戊烷-1-甲酸-2-乙酸	4.39	5.67		
环戊烷-1,1-二甲酸	3.23	4.08		
顺环戊烷-1,2-二甲酸	4.43	6.57		
反环戊烷-1,2-二甲酸	3.96	5.85		
顺环戊烷-1,3-二甲酸	4.26	5.51		
反环戊烷-1,3-二甲酸	4.32	5.42		
1,1-环戊基二乙酸	3.80	6.77		
顺环戊基-1,2-二乙酸	4.42	5.42		
反环戊基-1,2-二乙酸	4.43	5.43		
环戊基胺	10.65(+1)			
环氧乙烷二羧酸,顺	1.93	3.92		
环氧乙烷二羧酸,反	1.93	3.25		
苯乙酸	4.312			
苯乙基硫代乙酸	3.795			
β-苯乙基硼酸	10.0			
邻苯二甲酰胺	3.79(0)			
邻苯二甲酰亚胺	9.90(0)			
邻苯二甲酸	2.950	5.408		
1,4-苯二甲酸一腈	3.55(0)			
1,3-苯二甲酸一腈	3.60(0)			
1,4-苯二甲酸(对苯二酸)	3.54(0)	4.46(−1)		
1,3-苯二甲酸(异酞酸)	3.62(0)	4.60(−1)		
2-苯二胺	<2(+2)	4.47(+1)		
3-苯二胺	2.65(+2)	4.88(+1)		
4-苯二胺	3.29(+2)	6.08(+1)		
邻苯二酚紫;邻苯二酚磺酞	7.82	9.76	11.73	
苯二嗪	11.08(+1)			
1,2,3-苯三甲酸	2.88	4.75	7.13	
1,2,4-苯三甲酸	2.52	3.84	5.20	
1,3,5-苯三甲酸	2.12	4.10	5.18	
1,2,3,4-苯四甲酸	2.05	3.25	4.73	6.21
1,2,3,5-苯四甲酸	2.38	3.51	4.44	5.81
1,2,4,5-苯四甲酸	1.92	2.87	4.49	5.63
苯五甲酸(pK_5=6.46)	1.80	2.73	3.96	5.25
苯六甲酸(pK_5=6.32,pK_6=7.49)	0.68	2.21	3.52	5.09
3-苯甲酰-1,1,1-三氟丙酮	6.35			
1-苯甲酰丙酮	8.23			
苯甲酰丙酮酸	6.40	12.10		
2-苯甲酰苯甲酸	3.54			
苯甲酰肼	3.03(+2)	12.45(+1)		
苯甲酰氨	9.34(+1)			
苯甲酸	4.204			
苯-1-甲酸-2-磷酸		3.78	9.17	
苯-1-甲酸-3-膦酸		4.03	7.03	
苯-1-甲酸-4-膦酸	1.50	3.95	6.89	
苯肼	5.20(+1)			
苯并三唑	8.38(+1)			
苯并咪唑	5.53(+1)	12.3(0)		
5,6-苯并喹啉(20℃)	5.00(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
7,8-苯并喹啉(20℃)	4.15(+1)			
苯胂酸(22℃)		8.48(−1)		
苯-1-胂酸-4-羧酸		4.22(COOH)	8.59	
2-苯氨基乙磺酸				
3-苯氨基乙磺酸				
苯亚氨基二乙酸(20℃)	2.40	4.98		
苯氧基乙酸	3.171			
5-苯氧基-1,2,3,4-四唑	3.49(+1)			
2-苯氧基苯甲酸	3.53			
3-苯氧基苯甲酸	3.95			
4-苯氧基苯甲酸	4.52			
2-苯基乙胺	9.83(+1)			
苯基丁二酸(20℃)	3.78	5.55		
苯基丁氮酮	4.5(+1)			
4-苯基丁酸	4.757			
苯基三唑啉	1.6(+1)			
1-苯基-1,2,3-三唑-4-羧酸	2.88			
1-苯基-1,2,3-三唑-4,5-二羧酸	2.13	4.93		
5-苯基-1,2,3,4-四唑	4.38(+1)			
1-苯基双胍	2.13(+2)	10.76(+1)		
5-苯基巴比土酸	2.544(+1)			
苯基甲硫醇	10.70			
苯基丙二酸	2.58	5.03		
2-苯基丙酸	4.38			
3-苯基丙酸(35℃)	4.664			
苯基丙炔酸(35℃)	2.269			
3-苯基-1-丙胺	10.39(+1)			
2-苯基-2-苄基琥珀酸	3.69	6.47		
2-苯基-2-苯乙基琥珀酸(20℃)	3.74	6.52		
2-苯基苯酚	9.55			
3-苯基苯酚	9.63			
4-苯基苯酚	9.55			
N-苯基哌嗪(I=0.1mol·kg^{-1})	8.71(+1)			
苯基胍	10.77(+1)			
苯基硒代乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.75			
L-3-苯基-α-氨基丙酸	2.16(+1)	9.31(0)		
3-苯基-α-氨基丙酸,甲酯	7.05(+1)			
间苯基甜菜碱				
对苯基甜菜碱				
2-苯基-2-羟基丙酸	3.53			
3-苯基-3-羟基丙酸	4.40			
苯基异羟肟酸(20℃)	8.89(0)			
苯偶酰-α-二肟	1.20			
7-苯偶氮基-8-羟基-5-喹啉磺酸	3.41(0)	7.850(−1)		
苯硒酸	4.79			
苯酚	9.99			
苯酚磺酞	7.9			
3-苯酚磺酸	—	9.05(−1)		
苯酚-3-磷酸	1.78	7.03	10.2	

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
苯酚-4-磷酸	1.99	7.25	9.9	
苯硫酚	6.50			
1,4-苯醌单肟	6.20			
苯磺酰基乙酸	2.44			
苯亚磺酰基乙酸	2.66			
苯磺酸	0.70			
苯亚磺酸	1.50			
苯膦酸(17℃)	2.1			
苯膦酸(25℃)	1.83	7.07		
肼-*N*,*N*-二乙酸	<0.1	2.8	3.8	
肼-*N*,*N'* - 二乙酸	2.40	3.12	7.32	
4-肼羰基吡啶(20℃)	1.82	3.52	10.79	
肾上腺素,对映体	9.39(+1)			
哌啶	6.35			
松香酸	7.62			
2,4-庚二酮	8.43(酮基)			
	9.15(烯醇)			
庚酸	4.893			
庚二酸	4.484	5.424		
金属指示剂	……	4	7.85	15
金霉素		7.44	9.27	
异金霉素	3.1(+1)	6.7(0)	8.3(−1)	
苦味酸(2,4,6-三硝基苯酚)(18℃)	0.419			
茄碱	7.34(+1)			
4-茚满醇	10.32			
咖啡碱(40℃)	10.4			
毒芹碱(I=0.5mol·kg^{-1})	11.24(+1)			
毒扁豆碱	1.76(+1)	7.88(0)		
D-(—)-果糖	12.03			
L-(+)-乳酸	3.858			
海因[俗];乙内酰脲	9.12			
海洛因	7.6(+1)			
茜素黑 SN	5.79	12.8		
茜素-3-磺酸	5.54	11.01		
茶碱;1,3-二甲基黄嘌呤	<1(+1)	8.80		
茉林酸	4.32			
草酸	1.271	4.272		
扁桃酸	3.411			
癸二酸	4.59	5.59		
氟乙酸	2.586			
3-氟代丙烯酸	2.55			
氟代扁桃酸	4.244			
4-氟代苯乙酸	4.25			
2-氟代吡啶	−0.44(+1)			
3-氟代吡啶	2.97(+1)			
2-氟代苯氧基乙酸	3.08			
3-氟代苯氧基乙酸	3.08			
4-氟代苯氧基乙酸	3.13			
2-氟苯甲酸	3.27			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-氟苯甲酸	3.865			
4-氟苯甲酸	4.14			
3-氟苯硒酸	4.34			
4-氟苯硒酸	4.50			
2-氟苯胺	3.20(+1)			
3-氟苯胺	3.58(+1)			
4-氟苯胺	4.65(+1)			
2-氟苯酚	8.73			
3-氟苯酚	9.29			
4-氟苯酚	9.89			
2-氟苯膦酸	1.64	6.80		
5-氟脲嘧啶	8.00(0)	约13(−1)		
胞苷-2′-磷酸	0.8(+1)	4.36(0)	6.17(−1)	
胞苷-3′-磷酸	0.80(+1)	4.31(0)	6.04(−1)	13.2(糖)
胞苷-5′-磷酸	—	4.39(0)	6.62(−1)	
胞嘧啶	4.58(+1)	12.15(0)		
胞(嘧啶核)苷	4.08(+1)	12.24(0)		
胍	3.3(+1)	9.2	12.3	
胍基乙酸	2.82(+1)			
胍脱氧核苷-3′-磷酸	……	2.9	6.4	9.7
胸苷	9.79	12.85		
哈尔明,骆驼蓬碱(20℃)	7.61(+1)			
咪唑	7.03(+1)			
咪唑啉三酮(仲班酸)	6.10			
2-(4-咪唑基)乙胺	5.784(+2)	9.756(+1)		
4-(4-咪唑基)丁酸(I=0.1mol·kg^{-1})	4.26(+1)	7.62(0)		
3-(4-咪唑基)丙酸(I=0.16mol·kg^{-1})	3.96(+1)	7.57(0)		
哒嗪	2.33(+1)			
哌嗪	5.333(+2)	9.781(+1)		
1,4-哌嗪双(乙磺酸)(20℃)	6.80			
哌嗪-2-羧酸	1.5	5.41	9.53	
哌啶	11.123(+1)			
2-哌啶羧酸	2.12(+1)	10.75(0)		
3-哌啶羧酸	3.35(+1)	10.64(0)		
4-哌啶羧酸	3.73(+1)	10.72(0)		
1-(2-哌啶基)-2-丙酮(15℃)	9.45			
胡椒碱(15℃)	1.98(+1)			
柯卡因	8.41(+1)			
卓柯卡因(15℃)	9.88(+1)			
柠康酸	2.29(0)	6.15(−1)		
柠檬酸	3.128	4.761	6.396	
秋水仙碱	1.65(+1)			
奎宁;金鸡纳霜	4.11(+1)	8.52(0)		
奎尼丁	4.0(+1)	8.54(0)		
黑麦草碱(18℃)	4.01	11.39		
钍试剂	3.7	8.3	11.8	
钙黄绿素(pK_5>12)	<4	5.4	9.0	10.5
氢过氧化枯烯	12.60			
氧代乙酸(乙醛酸)	3.46			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氧代丁二酸(草酰乙酸)	2.56	4.37		
2-氧代丁酸	2.50			
5-氧代己酸(18℃)	4.662			
2-氧代丙二醛	3.60			
2-氧代丙酸(丙酮酸)	2.49			
3-氧代-1,5-戊二酸	3.10			
4-氧代戊酸(乙酰丙酸)	4.59			
N-(2-氨乙基)吗啉	4.06(+2)	9.15(+1)		
2-(2-氨乙基)吡啶(I=0.5mol·kg^{-1})	4.24(+2)	9.78(+1)		
N-(2-氨乙基)吡咯烷(30℃)	6.56(+2)	9.74(+1)		
对(2-氨乙基)苯酚	9.3	10.9		
3-(2-氨乙基)吲哚	—	10.2		
N-(2-氨乙基)哌啶(30℃)	6.38	9.89		
2-[2-(2-氨乙基)氨乙基]吡啶	3.50	6.59	9.51	
2-氨乙基膦酸	2.45(+1)	7.0(0)	10.8(−1)	
3-氨甲基-6-甲基吡啶(30℃)	8.70(+1)			
(2-氨甲基)吡啶(I=0.5mol·kg^{-1})	2.31(+2)	8.79(+1)		
氨甲基膦酸	2.35	5.9	10.8	
1-氨基乙烷磺酸	−0.33	9.06		
2-氨基乙烷磺酸	1.5	9.061		
2-氨基乙烷-1-磷酸	5.838	10.64		
2-氨基-2-乙基-1-丁醇	9.82(+1)			
3-氨基-*N*-乙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.23(+1)			
4-氨基-3-乙基吡啶(20℃)	9.51(+1)			
2-氨基乙酰胺	7.95(+1)			
氨基乙腈	5.34(+1)			
2-氨基乙醇(乙醇胺)	9.50(+1)			
2-氨基乙硫醇(I=0.01mol·kg^{-1})(半胱胺)	8.23(+1)			
4-氨基-3,5-二甲基吡啶(20℃)	9.54(+1)			
4-氨基-2,5-二甲基苯酚	5.28(+1)	10.40(0)		
4-氨基二苯(甲)酮	2.15(+1)			
2-氨基-*N*,*N*-二甲基苯甲酸	1.63(+2)			
1-氨基-2-二(氨甲基)丁烷	3.58(+3)	8.42(0)		
2-氨基-*N*,*N*-二羟乙基-2-羟-1,3-丙二醇	6.484(+1)			
12-氨基十二(烷)酸	4.648(+1)			
D-(+)-2-氨基-1-丁醇	9.52(+1)			
3-氨基-*N*-丁基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
4-氨基丁基膦酸	2.55	7.55	10.9	
3-氨基-2,4,6-三硝基甲苯				
4-氨基水杨酸	1.991(+1)	3.917(0)	13.74	
5-氨基水杨酸	2.74(+1)	5.84(0)		
4-氨基-2,3,5,6-四甲基吡啶(20℃)	10.58(+1)			
5-氨基-1,2,3,4-四唑(20℃)	1.76	6.07		
2-氨基-6-甲氧(基)苯并噻唑	4.50(+1)			
1-氨基-3-甲基丁烷	10.64(+1)			
3-氨基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
3-氨基-*N*-甲基-3-甲基-2-丁酮肟	9.23(+1)			
2-氨基-2-甲基-1,3-丙二醇	8.801			
2-氨基-2-甲基-1-丙醇	9.694(+1)			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氨基-3-甲基吡啶	7.24(+1)			
4-氨基-3-甲基吡啶	9.43(+1)			
2-氨基-4-甲基吡啶	7.48(+1)			
2-氨基-5-甲基吡啶	7.22(+1)			
2-氨基-6-甲基吡啶	7.41(+1)			
2-氨基-4-甲基嘧啶(20℃)	4.11(+1)			
氨基甲基磺酸	5.75(+1)			
3-氨基-4-甲基苯磺酸	3.633			
4-氨基-3-甲基苯磺酸	3.125			
2-氨基-4-甲基苯并噻唑	4.7(+1)			
N-氨基甲酰基乙酸	3.64			
2-氨基甲酰基吡啶(20℃)	2.10(+1)			
3-氨基甲酰基吡啶	3.328(+1)			
4-氨基甲酰基吡啶(20℃)	3.61(+1)			
1-氨基-1,2,3-丙烷三羧酸($I=0.2mol\cdot kg^{-1}$)	2.10(+1)	3.60(0)	4.60(−1)	9.82(−2)
3-氨基丙烯	9.691(+1)			
3-氨基-*N*-丙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
3-氨基-*N*-异丙基-3-甲基-2-丁酮肟	9.09(+1)			
4-氨基-3-异丙基吡啶(20℃)	9.54(+1)			
2-氨基丙基磺酸	—	9.15		
1-氨基-1-丙醇	9.96(+1)			
DD-2-氨基-1-丙醇	9.469(+1)			
3-氨基-1-丙醇	9.96(+1)			
N-氨基吗啉	4.19(+1)			
9-氨基吖啶(20℃)	9.95(+1)			
4-氨基安替比林	4.94(+1)			
2-氨基芴	10.34(+1)			
2-氨基吡啶	6.71(+1)			
3-氨基吡啶	6.03(+1)			
4-氨基吡啶	9.114(+1)			
2-氨基吡啶-1-氧化物	2.58(+1)			
3-氨基吡啶-1-氧化物	1.47(+1)			
4-氨基吡啶-1-氧化物	3.54(+1)			
2-氨基苄腈	2.75(+1)			
4-氨基苄腈	1.74(+1)			
7-氨基庚酸	4.502			
C-氨基-*C*-肼羰基甲烷	2.38(+2)	7.69(+1)		
1-氨基环丙烷	9.10(+1)	8.0	11.25	
1-氨基环戊烷	10.65(+1)			
1-氨基-1-环庚烷羧酸	2.59(+1)	10.46(0)		
1-氨基-1-环己烷羧酸	2.65(+1)	10.03(0)		
2-氨基-1-环己烷羧酸	3.56(+1)	10.21(0)		
4-氨基苯乙酸(20℃)	3.60	5.26		
2-氨基苯甲酰肼	1.85	3.47	12.80	
2-氨基苯甲酸	2.09(+1)	4.79(0)		
2-氨基苯甲酸,甲酯	2.36(+1)			
3-氨基苯甲酸	3.07(+1)	4.79(0)		
3-氨基苯甲酸,甲酯	3.58(+1)			
4-氨基苯甲酸	2.41(+1)	4.85(0)		

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-氨基苯甲酸,甲酯	2.45(+1)			
2-氨基苯胂酸	约 2	3.77	8.66	
3-氨基苯胂酸	约 2	4.02	8.92	
4-氨基苯胂酸	约 2	4.02	8.62	
2-氨基苯酚	9.28	9.72		
3-氨基苯酚	9.83	9.87		
4-氨基苯酚	8.50	10.30		
4-氨基苯基-(4-氯苯基)砜	1.38			
3-氨基苯基硼酸	4.46	8.81		
4-氨基苯基硼酸	3.71	9.17		
2-氨基苯基膦酸	—	4.10	7.29	
3-氨基苯基膦酸	—	—	7.16	
4-氨基苯基膦酸	—	—	7.53	
2-氨基苯硫酚	<2(+1)	7.90(0)		
2-氨基苯并噻唑(20℃)	4.48(+1)			
2-氨基苯磺酸	2.459(0)			
3-氨基苯磺酸	3.738(0)			
4-氨基苯磺酸	3.227(0)			
10-氨基癸基膦酸	—			
10-氨基癸基磺酸	2.65(+1)	8.59(+2)	9.66(+1)	
4-氨基异氢-3-噁唑啉酮	7.4(+1)			
1-氨基茚满	9.21			
氨基脲($I=0.1mol \cdot kg^{-1}$)	3.53(+1)			
3-氨基硫脲-1,1-二乙酸(30℃)	2.94	4.07		
1-氨基-3-硫代丁烷(30℃)	9.18(+1)			
5-氨基-3-硫代-1-戊醇(30℃)	9.12(+1)			
氨基氰	10.27			
2-氨基-D-β-葡萄糖($I=0.05mol \cdot kg^{-1}$)	2.20(+1)	9.08(0)		
2-氨基-3-巯基-3-甲基丁酸	1.8(+1)	7.9(0)	10.5(SH)	
2-氨基联苯	3.78(+1)			
3-氨基联苯	4.18(+1)			
4-氨基联苯	4.27(+1)			
2-氨基-3-羟基苯甲酸	2.5(+1)	5.192(0)	10.118(OH)	
2-氨基-2′-羟基二乙基硫醚	9.27(+1)			
4-氨基-2-羟基嘧啶(胞嘧啶)	4.58(+1)	12.15(0)		
4-氨基-3-溴甲基吡啶	7.47(+1)			
4-氨基-3-溴代吡啶(20℃)	7.04(+1)			
3-氨基-1-萘甲酸	2.61	4.39		
4-氨基-2-萘甲酸	2.89	4.46		
8-氨基-2-萘酚	4.20(+1)			
4-氨基-1-萘磺酸	2.81			
1-氨基-2-萘磺酸	1.71			
1-氨基-3-萘磺酸	3.20			
1-氨基-5-萘磺酸	3.69			
1-氨基-6-萘磺酸	3.80			
1-氨基-7-萘磺酸	3.66			
1-氨基-8-萘磺酸	5.03			
2-氨基-1-萘磺酸	2.35			
2-氨基-4-萘磺酸	3.70			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-氨基-6-萘磺酸	3.79	8.94		
2-氨基-8-萘磺酸	3.89			
5-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	5.46(+1)			
6-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	5.63(+1)			
8-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	3.99(+1)			
2-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	7.34(+1)			
3-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	4.95(+1)			
4-氨基喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	9.17(+1)			
1-氨基异喹啉(20℃, I=0.01mol·kg^{-1})	7.62(+1)			
3-氨基异喹啉(20℃, I=0.005mol·kg^{-1})	5.05(+1)			
8-氨基喹哪啶	4.86(+1)			
2-氨基噻唑(20℃)	5.36(+1)			
2-氨基-3-磺基丙酸	1.89(+1)	8.70(0)		
3-氨磺酰苯甲酸	3.54			
4-氨磺酰苯甲酸	3.47			
4-氨磺酰苯磷酸	1.42	6.38	10.0	
胰蛋白酶(I=0.1mol·kg^{-1})	6.25			
脒基脲	1.80	8.20		
DD-真蛸碱	1.35	2.30	8.68	11.25
LD-真蛸碱	1.40	2.30	8.72	11.34
D-酒石酸	3.036	4.366		
酒石酸,内消旋	3.22	4.81		
烟碱;尼古丁	3.15(+1)	7.87(0)		
烟碱烯	4.76(+1)			
核黄素(维生素 B_2)(I=0.01mol·kg^{-1})	约−0.2	9.69		
D-核糖-5′-膦酸	……	6.70(−1)	13.05(−2)	
吲哚-3-乙酸	4.75			
3-莨菪醇(3-托醇)	10.33(+1)			
骨螺紫;紫脲酸铵	0.0	9.20	10.50	
倒千里光裂醇	10.83			
2-氯乙基肿酸	3.68	8.37		
D-麻黄碱	10.139			
L-麻黄碱	9.958			
氯乙酸	2.867			
1-氯-2,6-二甲基-4-羟基苯	9.549			
4-氯-2,6-二硝基苯酚	2.97			
1-氯-1,2-二羟基苯	8.522			
3-氯丁基肿酸(18℃)	3.95	8.85		
2-氯丁酸	2.86			
3-氯丁酸	4.05			
4-氯丁酸	4.50			
3-氯己基-1-肿酸(18℃)	3.51	8.31		
2-氯巴豆酸	3.14			
3-氯巴豆酸	3.84			
2-氯异巴豆酸	2.80			
3-氯异巴豆酸	4.02			
2-氯代-3-丁烯酸	2.54			
7-氯四环素	3.30(+1)	7.44	9.27	
2-氯-2-甲基丙酸	2.975			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-氯-4-甲基苯胺	4.05(+1)			
4-氯-*N*-甲基苯胺	3.9(+1)			
4-氯-3-甲基苯酚	9.549			
3-氯邻甲苯胺	2.49(+1)			
4-氯邻甲苯胺	3.385(+1)			
5-氯邻甲苯胺	3.85(+1)			
6-氯邻甲苯胺	3.62(+1)			
N-氯对甲苯磺酰胺	4.54(+1)			
氯甲基膦酸	1.40	6.30		
3-氯-4-甲氧苯基膦酸	2.25	6.7		
氯丙炔酸	1.845			
2-氯丙胂酸(18℃)	3.76	8.39		
3-氯丙胂酸(18℃)	3.63	8.53		
氯丙啶	8.04(+1)			
顺-3-氯丙烯酸(18℃,I=0.1mol·kg^{-1})	3.32			
反-3-氯丙烯酸(18℃,I=0.1mol·kg^{-1})	3.65			
2-氯丙酸	2.84			
3-氯丙酸	3.992			
2′-氯肉桂酸,反式	4.234			
3′-氯肉桂酸,反式	4.294			
4′-氯肉桂酸,反式	4.413			
3-氯(代)乳酸	3.12			
2-氯吡啶	0.49(+1)			
3-氯吡啶	2.84(+1)			
4-氯吡啶	3.83(+1)			
2-氯苯乙酸	4.066			
3-氯苯乙酸	4.140			
4-氯苯乙酸	4.190			
4-氯-1,2-邻苯二甲酸	1.60			
2-氯苯甲酸	2.877			
3-氯苯甲酸	3.83			
4-氯苯甲酸	3.986			
3-(2′-氯苯)丙酸	4.577			
3-(3′-氯苯)丙酸	4.585			
3-(4′-氯苯)丙酸	4.607			
3-氯苯戊茎-1-胂酸(18℃)	3.71	8.77		
4-氯苯胂酸	3.33	8.25		
2-氯苯胺	2.64(+1)			
3-氯苯胺	3.52(+1)			
4-氯苯胺	3.99(+1)			
3-氯苯硒酸	4.47			
4-氯苯硒酸	4.48			
2-氯苯氧基乙酸	3.05			
3-氯苯氧基乙酸	3.07			
4-氯苯氧基乙酸	3.10			
4-氯苯氧基-2-甲基乙酸	3.26			
3-氯扁桃酸	3.237			
4-氯苯硫酚	5.9			
2-氯苯膦酸	1.63	6.98		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-氯苯膦酸	1.55	6.65		
4-氯苯膦酸	1.66	6.75		
4-氯-2-硝基苯胺	−1.10(+1)			
2-氯-3-硝基苯甲酸	2.02			
2-氯-4-硝基苯甲酸	1.96			
2-氯-5-硝基苯甲酸	2.17			
2-氯-6-硝基苯甲酸	1.342			
2-氯-6-硝基苯胺	−2.41(+1)			
4-氯-2-硝基苯酚	6.48			
(4-氯-3-硝基苯氧基)乙酸	2.959			
2-氯-4-硝基苯膦酸	1.12	6.14		
3-氯-2-(羟甲基)苯甲酸(20℃)	3.27			
6-氯-2-(羟甲基)苯甲酸(20℃)	2.26			
2-氯-3-羟基丁酸	2.59			
7-氯-8-羟基喹啉-5-磺酸	2.92	6.80		
2-氯酚	8.55			
3-氯酚	9.10			
4-氯酚	9.43			
4-氯-2-(2′-噻唑基偶氮)(苯)酚	7.09			
1-萘胺	3.92(+1)			
2-萘胺	4.11(+1)			
1-萘基乙酸	4.236			
2-萘基乙酸	4.256			
1-萘基胂酸	3.66	8.66		
1-萘酚(20℃)	9.30			
2-萘酚(20℃)	9.57			
2-萘羧酸	4.161			
1-萘羧酸(1-萘甲酸)	3.695			
萘醌单肟	8.01			
1-萘磺酸	0.57			
菠莱胺(I=0.1mol·kg^{-1})	4.895(+2)	8.90(+1)		
菠莱素	1.649(+2)	4.936(+1)	8.663(0)	
1,7-菲咯啉	4.30(+1)			
1,10-菲咯啉	4.857(+1)			
6,7-菲咯啉	4.857(+1)			
菲啶	5.58			
黄苷	<2.5(+1)	5.67(0)	12.00(−1)	
黄嘌呤(40℃)	0.68(+1)	9.91		
假托品	9.86(+1)			
假芽子碱	9.70			
假异氰胺(I=0.2mol·kg^{-1})	4.59(+2)			
偶砷乙酸		4.67	7.68	
偶砷丁酸		4.92	7.64	
偶砷丙烯酸		4.23	8.60	
2-偶砷巴豆酸		4.61	8.75	
3-偶砷巴豆酸		4.03	8.81	
偶砷戊酸		4.89	7.75	
偶氮胂III[pK_5=10.5(−4);pK_6=12.0(−5)]		1.2	2.7	7.9(−3)
脱水阔叶千里光裂碱				

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-脱氧乌苷(I=0.1mol·kg^{-1})	2.5(+1)			
5-脱氧吡哆醛(I=0.1mol·kg^{-1})	4.17(+1)	8.14(OH)		
脱氢抗坏血酸(20℃)	3.21	7.92	10.3	
2′-脱氧腺苷(I=0.1mol·kg^{-1})	3.8(+1)			
脱氧胆酸	6.58			
2-脱氧葡萄糖	12.52			
α-脲基丁酸	3.886(0)			
γ-脲基丁酸	4.683(0)			
β-脲基丁酸	4.487(0)			
甜菜碱	1.832(+1)			
铬天青S	2.45	4.86	11.47	
铬黑蓝	7.56	9.3	12.4	
烯丙胺	9.69(+1)			
烯丙基乙酸	4.68			
5-烯丙基巴比土酸	4.78(+1)			
5-烯丙基-5-(1-甲丁基)巴比土酸	8.08			
2-烯丙基丙炔酸	4.72			
2-烯丙基苯酚	10.28			
1-烯丙基哌啶	9.65(+1)			
维生素B_{12}	7.64(+1)			
清蛋白(牛血清)(I=0.15mol·kg^{-1})	10—10.3			
3-硒代氨基脲(I=0.1mol·kg^{-1})	0.8(+1)			
菸碱	2.80			
酚酞	9.4			
铜色树碱;脱甲奎宁	7.63(+1)			
N-(2-羟乙基)乙二胺	7.21(+2)	10.12(+1)		
N'-(2-羟乙基)乙二胺-N,N,N'-三乙酸	2.39	5.37	9.93	
2-羟乙基三甲基胺	8.94(+1)			
N-(羟乙基)双胍	2.8(+2)	11.53(+1)		
N-(2-羟乙基)亚氨基二乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.2	8.65		
N-(2-羟乙基)哌嗪-N'-乙磺酸(20℃)	7.55			
4′-(2-羟乙基)-1′-哌嗪丙磺酸(20℃)	8.00			
2-羟甲基-2-苯乙酸	4.12			
羟甲基膦酸	1.91	7.15		
2′-羟苯乙酮	9.90			
4′-羟苯乙酮	8.05			
N-羟基乙酰胺	9.40			
3′-羟基乙酮	9.19			
1-羟基-2,4-二羟基甲苯	9.79			
DL-羟基丁二酸(苹果酸)	3.458	5.097		
L-羟基丁二酸	3.40	5.05		
2-羟基丁酸(30℃)	3.65			
L-3-羟基丁酸(30℃)	4.41			
4-羟基丁酸(30℃)	4.71			
4-羟基-α,α,α-三氟甲苯	8.675			
1-羟基-2,4,6-三羟基甲苯	9.56			
10-羟基可待因	7.12			
羟基四环素	3.27(+1)	7.32(0)	9.11(−1)	
5-羟基-1,2,3,4-四唑	3.32			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-羟基甲苯	10.33			
3-羟基甲苯	10.10			
4-羟基甲苯	10.276			
1-羟基甲苯酚	9.95			
4-羟基甲腈	7.95			
2-羟基-2-甲基丁酸(18℃)	3.991			
3-羟基-2-甲基丁酸(18℃)	4.648			
2-羟基-2-甲基丙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.717			
4-羟基-4-甲基戊酸(18℃)	4.873			
2-羟基-4-甲基吡啶	4.529(+1)			
(2-羟基-5-甲基苯)甲醇	10.15			
2-羟基-3-甲基苯甲酸	2.99			
2-羟基-4-甲基苯甲酸	3.17			
2-羟基-5-甲基苯甲酸	4.08			
2-羟基-6-甲基苯甲酸	3.32			
1-(1-羟基-4-甲基-2-苯偶氮)-2-萘酚-4-磺酸	8.14	12.35		
8-羟基-2-甲基喹啉	5.55(+1)	10.31(0)		
8-羟基-4-甲基喹啉	5.56(+1)	10.00(0)		
8-羟基-2-甲基喹啉-5-磺酸	4.80(0)	9.30(−1)		
8-羟基-4-甲基喹啉-7-磺酸	4.78(0)	10.01(−1)		
8-羟基-6-甲基喹啉-5-磺酸	4.20(0)	8.7(−1)		
4-羟基-3-甲氧基苯甲酸	4.355			
2-羟基-3-甲氧基苯甲醛	7.912			
3-羟基-4-甲氧基苯甲醛(异香草醛)	8.889			
4-羟基-3-甲氧基苯甲醛(香草醛)	7.396			
1-羟基-2-甲氧基苄胺	8.70(+1)	10.52(0)		
2-羟基-1-甲氧基苄胺	8.89(+1)	10.52(0)		
3-羟基-2-甲氧基苄胺	8.94(+1)	10.42(0)		
羟基丙二酸(丙醇二酸)	2.37	4.74		
2-羟基丙酸	3.858			
1-羟基-2-丙基苯	10.50			
4-羟基戊酸(18℃)	4.686			
4-羟基-3-戊烯酸	4.30			
3-羟基吩嗪(15℃)	2.67			
反-3′-羟基肉桂酸	4.40			
反-2′-羟基肉桂酸	4.614			
1-羟基吖啶(15℃)	5.72			
2-羟基吖啶(15℃)	5.62			
3-羟基吖啶(15℃)	5.30			
2-羟基吡啶	1.25(+1)	11.62(0)		
3-羟基吡啶	4.80(+1)	8.72(0)		
4-羟基吡啶	3.23(+1)	11.09(0)		
2-羟基吡啶-N-氧化物	−0.62(+1)	5.97(0)		
2-羟基苯甲酰胺	8.36			
2-羟基苯甲醇(2-羟基苄醇)	9.92			
3-羟基苯甲醇	9.83			
4-羟基苯甲醇	9.82			
2-羟基苯甲醛(水杨醛)	8.34			
3-羟基苯甲醛	9.00			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-羟基苯甲醛	7.620			
2-羟基苯甲醛肟	1.37(+1)	9.18	12.11	
2-羟基苯甲酸(水杨酸)	2.98	12.38		
3-羟基苯甲酸	4.076	9.85		
4-羟基苯甲酸	4.582	9.23		
4-羟基苯胂酸	3.89	8.37(苯酚)	10.05	
2-羟基-2-苯基丙酸	3.532			
2-(2-羟基苯基)吡啶(20℃)	4.19(+1)	10.64		
2-羟基苯基羟肟酸	5.19			
3-羟基苯硼酸	8.55	10.84		
4-羟基苯磺酸	—	9.055(−1)		
顺-2-羟基环己烷-1-羧酸	4.796			
反-2-羟基环己烷-1-羧酸	4.682			
顺-3-羟基环己烷-1-羧酸	4.602			
反-3-羟基环己烷-1-羧酸	4.815			
顺-4-羟基环己烷-1-羧酸	4.836			
反-4-羟基环己烷-1-羧酸	4.687			
2-羟基-5-氯苯甲酸	2.63			
羟基脲嘧啶	8.64			
2-羟基-1-萘甲酸(20℃)	3.29	9.68		
3-羟基-4-硝基甲苯(I=0.1mol·kg^{-1})	7.41			
2-羟基-2-硝基苯甲酸	2.23			
2-羟基-3-硝基苯甲酸	1.87			
2-羟基-5-硝基苯甲酸	2.12			
2-羟基-6-硝基苯甲酸	2.24			
2-羟基-4-硝基苯膦酸	1.22	5.39		
8-羟基-7-硝基喹啉-5-磺酸	1.94(0)	5.750(−1)		
3-羟基-4-羟甲基吡啶(20℃,I=0.2mol·kg^{-1})	5.00(+1)	8.95(OH)		
5-羟基-2-(羟甲基)-4H-吡喃-4-酮	7.90	8.03		
3-羟基-2-羟甲基吡啶(20℃,I=0.2mol·kg^{-1})	5.00(+1)	9.07(OH)		
1-羟基-4-羟基甲苯	9.84			
羟基赖氨酸(38℃,I=0.1mol·kg^{-1})	2.13(+2)	8.62(+1)	9.67(0)	
8-羟基嘌呤	2.56	8.26		
8-羟基喹唑啉	3.41(+1)	8.65(0)		
2-羟基喹啉(20℃)	−0.31(+1)	11.74		
3-羟基喹啉(20℃)	4.30(+1)	8.06(0)		
4-羟基喹啉(20℃)	2.27(+1)	11.25(0)		
5-羟基喹啉(20℃)	5.20(+1)	8.54(0)		
6-羟基喹啉(20℃)	5.17(+1)	8.88(0)		
7-羟基喹啉(20℃)	5.48(+1)	8.85(0)		
8-羟基喹啉(20℃)	4.91(+1)	9.81(0)		
8-羟基喹啉-5-磺酸	4.092(+1)	8.776(0)		
2-羟基-5-溴苯甲酸	2.61			
8-羟基-7-碘代喹啉-5-磺酸	2.51(0)	7.417(−1)		
4-羟基喋啶	1.3(+1)	7.89(0)		
羟基缬氨酸	2.55(+1)	9.77(0)		
4-羟基嘧啶	1.85(+1)	8.59(0)		
2-羟基嘧啶	2.24(+1)	9.17(0)		
4-羟基-3-(2′-噻唑基偶氮)甲苯	8.36			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
硝基乙烷	8.57			
硝基乙酸	1.68			
硝基乙酸乙酯	5.85			
硝基甲烷	10.21			
1-硝基丙烷	8.98			
2-硝基丙烷	7.675			
2-硝基丙酸	3.79			
2-硝基吡啶(I=0.02mol·kg^{-1})	−2.06(+1)			
3-硝基吡啶(I=0.02mol·kg^{-1})	0.79(+1)			
4-硝基吡啶(I=0.02mol·kg^{-1})	1.23(+1)			
2-硝基苯乙酸	4.00			
3-硝基苯乙酸	3.97			
4-硝基苯乙酸	3.85			
2-硝基苯-1,4-二羧酸	1.73			
3-硝基苯-1,2-二羧酸	1.88			
4-硝基苯-1,2-二羧酸	2.11			
2-硝基苯甲酸	2.18			
3-硝基苯甲酸	3.46			
4-硝基苯甲酸	3.441			
3-(2′-硝基苯)丙酸	4.504			
3-(4′-硝基苯)丙酸	4.473			
反-2-硝基肉桂酸	4.15			
反-3-硝基肉桂酸	4.12			
反-4-硝基肉桂酸	4.05			
2-硝基对苯二酚	7.63	10.06		
2-硝基苯胂酸	3.37	8.54		
3-硝基苯胂酸	3.41	7.80		
4-硝基苯胂酸	2.90	7.80		
2-硝基苯胺	−0.28(+1)			
3-硝基苯胺	2.46(+1)			
4-硝基苯胺	1.01(+1)			
(2-硝基苯氧基)乙酸	2.896			
(3-硝基苯氧基)乙酸	2.951			
(4-硝基苯氧基)乙酸	2.893			
3-硝基苯硒酸	4.07			
4-硝基苯硒酸	4.00			
7-(4-硝基苯偶氮基)-8-羟基-5-喹啉磺酸	3.14(0)	7.495(−1)		
2-硝基苯酚	7.222			
3-硝基苯酚	8.360			
4-硝基苯酚	7.150			
3-硝基苯膦酸	1.30	6.27		
4-硝基苯膦酸	1.24	6.23		
3-硝基萘酚	8.984			
N-硝基亚氨基二乙酸	2.21	3.33		
1-硝基-6,7-菲咯啉(I=0.2mol·kg^{-1})	3.23(+1)			
5-硝基-1,10-菲咯啉	3.232(+1)			
6-硝基-1,10-菲咯啉	3.23(+1)			
硝基脲	4.15(+1)			
氰尿酸	6.78			

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
氰甲基胺	5.34(+1)			
1-氰甲基哌啶	4.55(+1)			
2-氰基乙胺	7.7(+1)			
氰基乙酰肼	2.34(+2)	11.17(+1)		
氰基乙酸	2.460			
N-(2-氰基)乙基降可待因	5.68(+1)			
4-氰基-2,6-二甲基(苯)酚	8.27			
4-氰基-3,5-二甲基(苯)酚	8.21			
4-氰基丁酸	4.44			
2-氰基-2-甲基丙酸	2.422			
2-氰基-2-甲基-2-苯乙酸	2.290			
2-氰基丙酸	2.37			
3-氰基丙酸	3.99			
2-氰基吡啶	−0.26(+1)			
3-氰基吡啶	1.45(+1)			
4-氰基吡啶	1.90(+1)			
2-氰基苯甲酸	3.14			
3-氰基苯甲酸	3.60			
4-氰基苯甲酸	3.55			
3-氰基苯酚	8.61			
邻氰基苯氧基乙酸	2.98			
间氰基苯氧基乙酸	3.03			
对氰基苯氧基乙酸	2.93			
反-1-氰基环己烷-2-羧酸	3.865			
2,2'-联吡啶	−0.52(+2)	4.352(+1)		
2,3'-联吡啶(20℃)	1.52(+2)	4.42(+1)		
2,4'-联吡啶(20℃)	1.19(+2)	4.77(+1)		
3,3'-联吡啶(20℃,$I=0.2mol\cdot kg^{-1}$)	3.0(+2)	4.60(+1)		
3,4'-联吡啶(20℃,$I=0.2mol\cdot kg^{-1}$)	3.0(+2)	4.85(+1)		
4,4'-联吡啶	3.17(+2)	4.82(+1)		
2-联苯羧酸	3.46			
(1,1'-联苯)-4,4'-二胺	3.63(+2)	4.70(+1)		
α-D-(+)-葡萄糖	12.28			
α-D-葡萄糖-1-磷(酯)	1.11(0)	6.504(−1)		
葡糖抗坏血酸	4.26	11.58		
D-葡糖酸	3.86			
喹啉	4.80(+1)			
异喹啉	5.40(+1)			
喹喔啉	0.72(+1)			
D-棉子糖	12.74			
富马酸	3.10	4.60		
普鲁卡因(奴佛卡因)	8.85(+1)			
蒂巴因;二甲基吗啡	7.95(+1)			
番木鳖碱(15℃)	2.50(+2)	8.16(+1)		
硫代乙酸	3.33			
硫代二乙酸	3.32	4.29		
2,2'-硫代二乙酸	3.32	4.29		
3,3'-硫代二丙酸(18℃)	4.085	5.075		
1,4'-硫代二丁酸(18℃)	4.351	5.275		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
3-硫代-*S*-甲基卡巴肼	7.563(+1)			
3-硫代氨基脲(I=0.1mol·kg^{-1})	1.5(+1)			
硫脲	2.03(+1)			
硫氰基乙酸	2.58			
异硫氰酸基乙酸	6.62			
2-巯基乙胺	8.27(+1)	10.53(0)		
2-巯基乙醇	9.88			
巯基乙酸	3.60(0)	10.56(SH)		
2-巯基乙酸乙酯	7.95(SH)			
2-巯基乙磺酸(20℃)		9.5(−1)		
2-巯基丁酸	3.53(0)			
3-巯基-1,2-丙二醇(I=0.5mol·kg^{-1})	9.43			
2-巯基丙烷(I=0.1mol·kg^{-1})	10.86			
2-巯基丙酸	4.32(0)	10.20(SH)		
3-巯基丙酸	—	10.84(SH)		
2-巯基吡啶(20℃)	−1.07(+1)	10.00(0)		
3-巯基吡啶(20℃)	2.26(+1)	7.03(0)		
4-巯基吡啶(20℃)	1.43(+1)	8.86(0)		
巯基-*S*-苯乙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.39			
2-巯基苯甲酸(20℃)	4.05(0)			
3-巯基丙酸乙酯	9.48(SH)			
2-巯基组氨酸	1.84(+1)	8.47(0)	11.4(SH)	
巯基琥珀酸	3.30(0)	4.94(−1)	10.94(SH)	
2-巯基喹啉(20℃)	−1.44(+1)	10.21(0)		
3-巯基喹啉(20℃)	2.33(+1)	6.13(0)		
4-巯基喹啉(20℃)	0.77(+1)	8.83(0)		
DL-琥珀酰亚胺	9.623			
琥珀酰胺酸(琥珀酸单酰胺)	4.39(0)			
琥珀酸	4.207	5.635		
溴乙酸	2.902			
3-溴代-4-(二甲氨基)吡啶(20℃)	6.52(+1)			
2-溴代-4,6-二硝基苯胺	−6.94(+1)			
2-溴代丁酸(35℃)	2.939			
溴代丁二酸	2.55	4.41		
3-溴代-4-甲氨基吡啶(20℃)	7.49(+1)			
2-溴代对甲苯基膦酸	1.81	7.15		
2-溴代丙酸	2.971			
3-溴代丙酸	3.992			
溴代丙炔酸	1.855			
2-溴代肉桂酸,反式	4.41			
2-溴代-2-苯乙酸	2.21			
4-溴代苯胂酸	3.25	8.19		
2-溴代苯胺	2.53(+1)			
3-溴代苯胺	3.53(+1)			
4-溴代苯胺	3.88(+1)			
2-(2′-溴代苯氧基)乙酸	3.12			
2-(3′-溴代苯氧基)乙酸	3.09			
2-(4′-溴代苯氧基)乙酸	3.13			
3-溴代苯硒酸	4.43			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-溴代苯硒酸	4.50			
4-溴代苯次膦酸(17℃)	2.1			
2-溴代苯膦酸	1.64	7.00		
3-溴代苯膦酸	1.45	6.69		
4-溴代苯膦酸	1.60	6.83		
3-溴代扁桃酸	3.13			
赤-2-溴代-3-氯代丁二酸(19℃,I=0.1mol·kg^{-1})	1.4	2.6		
苏-2-溴代-3-氯代丁二酸(19℃,I=0.1mol·kg^{-1})	1.5	2.8		
2-溴代-6-硝基苯甲酸	1.37			
3-溴代-2-羟甲基苯甲酸(20℃)	3.28			
6-溴代-2-羟甲基苯甲酸(20℃)	2.25			
7-溴代-8-羟基喹啉-5-磺酸	2.51	6.70		
(2-溴甲基)丁酸	3.92			
溴甲基膦酸	1.14	6.52		
2-溴吡啶	0.71(+1)			
3-溴吡啶	2.85(+1)			
4-溴吡啶	3.71(+1)			
2-溴苯甲酸	2.85			
3-溴苯甲酸	3.810			
4-溴苯甲酸	3.99			
2-溴苯酚	8.452			
3-溴苯酚	9.031			
4-溴苯酚	9.34			
2-(溴苯基)乙酸	4.054			
4-(溴苯基)乙酸	4.188			
3-溴喹啉	2.69(+1)			
碘乙酸	3.175			
碘甲基磷酸	1.30	6.72		
2-碘丙酸	3.11			
3-碘丙酸	4.08			
碘代扁桃酸	3.264			
2-碘吡啶	1.82(+1)			
3-碘吡啶	3.25(+1)			
4-碘吡啶(20℃)	4.02(+1)			
2-碘苯乙酸	4.038			
3-碘苯乙酸	4.159			
4-碘苯乙酸	4.178			
2-碘苯甲酸	2.86			
3-碘苯甲酸	3.86			
4-碘苯甲酸	4.00			
2-碘苯氧基乙酸	3.17			
3-碘苯氧基乙酸	3.13			
4-碘苯氧基乙酸	3.16			
2-碘苯胺	2.54(+1)			
3-碘苯胺	3.58(+1)			
4-碘苯胺	3.82(+1)			
2-碘苯酚	8.464			
3-碘苯酚	8.879			
4-碘苯酚	9.200			

续表

物质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-碘苯膦酸	1.74	7.06		
5-碘组胺	4.06(+2) (咪唑)	9.20(+1) (NH_3^+)	11.88(0) (亚氨基)	
7-碘-8-羟基喹啉-5-磺酸	2.514	7.417		
腺苷-5′-三磷酸	—	4.00(−1)	6.48(−2)	
腺苷-5′-焦磷酸	—	4.2(−1)	7.20(−2)	
腺苷-2′-磷酸	3.81(+1)	6.17(0)		
腺苷-3′-磷酸	3.65(0)	5.88(−1)		
腺苷-5′-磷酸	3.74(0)	6.05(−1)	13.06(−2)	
腺嘌呤	4.17(+1)	9.75(0)		
腺(嘌呤核)苷	3.5(+1)	12.34(0)		
腺嘌呤脱氧核苷-5′-磷酸	—	4.4	6.4	
腺嘌呤-*N*-氧化物	2.69(+1)	8.49(0)		
蒽-1-甲酸				
蒽-2-甲酸				
蒽-9-甲酸				
蒽醌-1-羧酸(20℃)				
蒽醌-2-羧酸(20℃)				
9,10-蒽醌单肟				
9,10-蒽醌-1-磺酸				
9,10-蒽醌-2-磺酸				
3,6-噁辛烷二酸($I=1.0mol\cdot kg^{-1}$)	3.055	3.676		
3-酰氨基四唑	3.95(+1)			
β-羧甲基氨基丙酸	3.61(+1)	9.46(0)		
罂粟碱	5.90(+1)			
嘧啶	1.30(+1)			
2,4,5,6(1*H*,3*H*)-嘧啶四酮-5-肟	4.57(0)			
2,4(1*H*,3*H*)-嘧啶二酮(尿嘧啶)	0.6(+1)	9.46(0)		
缩二胍	12.8			
蝶啶	4.05			
D-樟脑酸	4.57	5.10		
磺胺	10.43(+1)			
磺基乙酸	—	4.0		
5-磺基水杨酸	2.49	12.00		
2-磺基丙酸	1.99			
3-磺基苯甲酸	—	3.78		
4-磺基苯甲酸	—	3.72		
3-磺基苯酚	0.39	9.07		
4-磺基苯酚	0.58	8.70		
D-糖精酸	5.00(0)			
糖精(邻苯甲酰磺酰亚胺)	2.32	11.68		
2-噻吩甲酰三氟丙酮	5.70(0)			
2-噻吩羧酸(30℃)	3.529			
3-噻吩羧酸(3-噻吩酸)	4.10			
噻唑啉	2.53(+1)			
磷酰胺酸	3.08	8.63		
O-磷酸乙醇胺	5.838(+1)	10.638(0)		
鹰爪豆碱	4.49(+1)	11.76(0)		
藜芦胺	7.49(+1)			
藜芦碱	8.85(+1)			

表 1-77　氨基酸在水溶液中的离解常数(25℃)

(以碳原子数顺序排列)

名　称	分　子　式	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}	pK_{a4}
甘氨酸	NH_2CH_2COOH	2.3507(+1)	9.7796		
丙氨酸	$CH_3CH(NH_2)COOH$	2.345	—		
肌氨酸	CH_3NHCH_2COOH	2.21	10.12		
DL-半胱氨酸	$HSCH_2CH(NH_2)COOH$	1.88	8.15	10.29	
L-半胱氨酸		1.71	8.39	10.86	
高半胱氨酸		2.222(+1)	8.87	10.70	
丝氨酸	$HOCH_2CH(NH_2)COOH$	2.186(+1)	9.25		
异丝氨酸		2.72	9.208		
DL-天冬氨酸	$HOOCCH(NH_2)CH_2COOH$	3.86	9.82(−1)		
苏氨酸	$CH_3CH(OH)CH(NH_2)COOH$	2.088	9.10		
别苏氨酸	$HOCH_2C(CH_3)(NH_2)COOH$	2.108	9.096		
脯氨酸	(C_4H_7N)-COOH	1.952	10.640		
谷氨酸	$HOOCCH(NH_2)(CH_2)_2COOH$	2.13	4.31	9.358	
DL-缬氨酸	$(CH_3)_2CHCH(NH_2)COOH$	2.286	9.719		
L-缬氨酸		2.996	9.79		
蛋氨酸	$CH_3S(CH_2)_2CH(NH_2)COOH$	2.22	9.27		
鸟氨酸	$H_2N(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	1.705	8.69		
L-(+)-鸟氨酸		1.94(+2)	8.65(+1)	10.76	
L-刀豆氨酸	$H_2NC(NH)NHO(CH_2)_2CH(NH_2)COOH$	2.50(+2)	6.60	9.25	
组氨酸	$(C_3H_3N_2)CH_2CH(NH_2)COOH$	1.80	6.04	9.33	
L-胱氨酸	$[HOOCCH(NH_2)CH_2S]_2$	—	—	7.85	9.85
(35℃)		1.6(+2)	2.1(+1)	8.02	8.77
高胱氨酸		1.593(+1)	2.523	8.676	9.413
正白氨酸	$CH_3(CH_2)_4CH(NH_2)COOH$	2.335	—		
异白氨酸		2.318	9.758		
L-白氨酸	$CH_3CH(CH_3)CH_2CH(NH_2)COOH$	2.328(+1)	9.744		
(即亮氨酸)					
赖氨酸	$H_2N(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	1.83	6.07		
L-(+)-赖氨酸		1.83	6.07		
精氨酸	$H_2NC(=NH)NH(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	1.8217	8.9936	12.47	
酪氨酸	$HOC_6H_4CH_2CH(NH_2)COOH$	2.18(+1)	9.21	10.47(OH)	
色氨酸	$(C_6H_4C_2H_2N)CH_2CH(NH_2)COOH$	2.43	9.44		
L-色氨酸		2.38	9.39		
扁刀豆酸		2.40	3.70	9.20	
L-(+)-瓜氨酸		2.43(+1)	9.418		

表 1-78　取代氨基羧酸的离解常数(25℃)

(以中文名字笔画为序,表中 pKa 值后标注说明同表 1-76,除另加说明者外,均为 25℃,离子强度 $I=0$)

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
S-乙基-L-半胱氨酸($I=0.1 mol \cdot kg^{-1}$)	2.03(+1)	8.60(0)		
N-乙基丙氨酸	2.22(+1)	10.22(0)		
N-乙酰-β-丙氨酸	4.445			
N-乙酰-α-丙氨酸	3.715			
N-乙酰半胱氨酸(30℃)	9.52			
N-乙酰甘氨酸	3.670			

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
2-乙酰氨基丁酸	3.72			
2-(乙酰氨基)丁酸	3.716			
3-乙酰氨基丙酸	4.445			
N-α-乙酰-L-组氨酸	7.08			
3-二甲氨基丙酸	9.85(+1)			
N,*N*-二甲基甘氨酸	2.146(+1)	9.940(0)		
N,*N*-二甲基甘氨酰甘氨酸	3.11(+1)	8.09(0)		
2,4-二氨基丁酸(20℃)	1.85(+2)	8.24(+1)	10.40(0)	
2,3-二氨基丙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	1.33(+2)	6.674(+1)	9.623(0)	
N,*N*-二(2-羟乙基)甘氨酸	8.333			
3,4-二羟基丙氨酸	2.32(+1)	8.68(0)	9.87(−1)	
3,5-二溴对 L-酪氨酸	2.17(+1)	6.45(0)	7.60(−1)	
2,5-二碘组氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.72	8.18	9.76	
3,5-二碘酪氨酸	2.117(+1)	6.479(0)	7.821(−1)	
N-丁基甘氨酸	2.35(+1)	10.25(0)		
5,5,5-三氟亮氨酸	2.045(+1)	8.942(0)		
6,6,6-三氟正亮氨酸	2.164(+1)	9.463(0)		
4,4,4-三氟-2-氨基丁酸	1.600(+1)	8.169(0)		
4,4,4-三氟-3-氨基丁酸	2.756(+1)	5.822(0)		
4,4,4-三氟缬氨酸	1.537(+1)	8.098(0)		
5,5,5-三氟正缬氨酸	2.042(+1)	8.916(0)		
L-天冬酰胺酰基甘氨酸		4.53	9.07	
D-天冬氨酸		3.87(0)	10.00(−1)	
天冬氨酰天冬氨酸		3.40	4.70	8.26
α-天冬氨酰组氨酸(38℃,I=0.1mol·kg^{-1})		3.02	6.82	7.98
β-天冬氨酰组氨酸(38℃,I=0.1mol·kg^{-1})		2.95	6.93	8.72
N-天冬氨酰-对-酪氨酸(I=0.01mol·kg^{-1})		3.57	8.92	10.23(OH)
N-甲基丙氨酸	2.22(+1)	10.19(0)		
N-甲基甘氨酸(肌氨酸)	2.12(+1)	10.20(0)		
S-甲基-L-半胱氨酸	8.97			
邻甲基苏氨酸	2.02(+1)	9.00(0)		
邻甲基别苏氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	1.92(+1)	8.90(0)		
1-甲基组氨酸	1.69	6.48	8.85	
2-甲基组氨酸(18℃)	1.7	7.2	9.5	
邻甲基酪氨酸	2.21(+1)	9.35(0)		
N-甲酰甘氨酸	3.43			
N-L-丙氨酰-2-D-氨基丙酸	3.12(+1)	8.30(0)		
N-D-丙氨酰-2-D-氨基丙酸(I=0.10mol·kg^{-1})	3.32(+1)	8.13(0)		
N-L-丙氨酰-α-L-氨基丙酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.32(+1)	8.13(0)		
N-α-丙氨酰甘氨酸	3.11(+1)	8.11(0)		
丙氨酰甘氨酰甘氨酸	3.190(+1)	8.15(0)		
β-丙氨酰组氨酸	2.64	6.86	9.40	
N-丙基甘氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.38(+1)	10.03(0)		
N-丙基甘氨酸	3.19(+1)	8.97(0)		
N-异丙基甘氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.36(+1)	10.06(0)		
N-丙酰甘氨酸	3.718(0)			
L-丝氨酸	2.186(+1)	9.208(0)		
丝氨酸,甲基酯(I=0.1mol·kg^{-1})	7.03(+1)			
L-异丝氨酸(I=0.16mol·kg^{-1})	2.72(+1)	9.25(0)		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
丝氨酸甘氨酸($I=0.15mol\cdot kg^{-1}$)	2.10(+1)	7.33(0)		
L-丝氨酰-L-亮氨酸	3.08(+1)	7.45(0)		
N-甘氨酰天冬酰胺	2.942			
甘氨酰天冬氨酸	2.81(+1)	4.45(0)	8.60(−1)	
甘氨酰丙氨酰丙氨酸	3.38(+1)	8.10(0)		
双甘氨酰甘氨酸	3.225(+1)	8.090(0)		
N-甘氨酰-甘氨酸	3.126(+1)	8.252(0)		
N-甘氨酰肌氨酸($I=0.1mol\cdot kg^{-1}$)	2.98(+1)	8.55(0)		
N-甘氨酰丝氨酸	2.98(+1)	8.38(0)		
甘氨酰丝氨酰甘氨酸	3.23	7.99		
甘氨酰-DL-谷氨酰胺(18℃)	2.88(+1)	8.33(0)		
甘氨酰-L-组氨酸($I=0.16mol\cdot kg^{-1}$)	6.79	8.20		
甘氨酰异亮氨酸	8.00			
N-甘氨酰-L-亮氨酸	3.180(+1)	8.327(0)		
N-甘酰-α-氨基丙酸	3.15(+1)	8.33(0)		
双甘氨酰胱氨酸(35℃)	2.71	2.71	7.94	7.94
L-甘氨酰-脯氨酸($I=0.1mol\cdot kg^{-1}$)	2.81(+1)	8.65(0)		
甘氨酰胺	8.03(+1)			
甘氨酰酪氨酸	2.93	8.45	10.49	
甘氨酰缬氨酸	3.15	8.18		
甘氨酰-O-磷酰基丝氨酸	2.90	6.02	8.43	
甘氨酸，乙酯	7.66(+1)			
甘氨酸，甲酯	7.59(+1)			
甘氨酸-O-苯基磷酰基丝氨酸	2.96	8.07		
甘氨酸羟肟酸	7.10	9.10		
叶酸(蝶酰谷氨酸)	8.26			
L-(+)-瓜氨酸	2.43(+1)	9.41(0)		
L-(+)-半胱氨酸	1.71(+1)	8.39(0)	10.70(SH)	
L-(+)-半胱氨酸，乙酯	6.69(NH_3^+)	9.17(SH)		
L-(+)-半胱氨酸，甲酯	6.56(NH_3^+)	8.99(SH)		
L-半胱氨酰-L-天冬酰胺	2.97	7.09	8.47	
L-胱氨酸(35℃)	1.6(+2)	2.1(+1)	8.02(0)	8.71(−1)
半胱氨酰甘氨酰甘氨酸(35℃)	3.12	3.21	6.01	6.87
肌氨酸甲基酰胺	8.28(+1)			
肌氨(酸)酰甘氨酸($I=0.16mol\cdot kg^{-1}$)	3.15(+1)	8.56(0)		
肌氨(酸)酰肌氨酸	2.92(+1)	9.15(0)		
肌氨(酸)酰丝氨酸	3.17(+1)	8.63(0)		
肌氨(酸)酰亮氨酸	3.15(+1)	8.67(0)		
肌氨酸酰胺	8.35(+1)			
3,3′-(亚甲基二硫代)二丙氨酸	2.200(+1)	8.16(0)		
L-谷氨酰氨($I=0.2mol\cdot kg^{-1}$)	2.15(+1)	9.00(0)		
异谷氨酰胺	3.81(+1)	7.88(0)		
D-(−)-谷氨酸	2.162(+1)	4.272(0)	9.358(−1)	
L-谷氨酸	2.13(+1)	4.31(0)	9.76(−1)	
谷氨酸，1-乙酯	3.85(+1)	7.84(0)		
谷氨酸，5-乙酯	2.15(+1)	9.19(0)		
N-苯甲酰甘氨酸(马尿酸)	3.65			
苯甲酰谷氨酸	3.49	4.99		
苯丙氨酰甘氨酸($I=0.01mol\cdot kg^{-1}$)	3.10(+1)	7.71(0)		

续表

物　　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
苯丙氨酰精氨酸(I=0.01mol·kg^{-1})	2.66(+1)	7.57(0)	12.40(−1)	
DL-α-苯基甘氨酸	1.83(+1)	4.39(0)		
β-苯基丝氨酸(I=0.16mol·kg^{-1})	8.79(0)			
O-苯膦酰基丝氨酸	2.13(+1)	8.79		
O-苯膦酰基丝氨酰甘氨酸	3.18(+1)	6.95(0)		
O-苯膦酰基-L-丝氨酰-L-亮氨酸	3.16(+1)	7.12(0)		
异组氨(I=0.1mol·kg^{-1})	6.036(+2)	9.274(+1)		
组氨酰甘氨酸	2.40(+2)	5.80(+1)	7.82(0)	
组氨酰组氨酸(I=0.16mol·kg^{-1})	5.40(+2)	6.80(+1)	7.95(0)	
组氨酸,甲酯(I=0.1mol·kg^{-1})	5.01(+2)	7.23(+1)		
DL-组氨酸	1.82(+2)	6.00(+1)	9.16(0)	
组氨酸酰胺(I=0.2mol·kg^{-1})	5.78(+2)	7.64(+1)		
L-亮氨酰-L-天冬酰胺	3.00(+1)	8.12(0)		
DL-亮氨酰甘氨酸	3.25(+1)	8.28(0)		
L-亮氨酰-L-谷氨酰胺	2.99(+1)	8.11(0)		
亮氨酸酰胺	7.80(+1)			
D-亮氨酰-L-酪氨酸	3.46(+1)	7.84(0)	10.09(−1)	
亮氨酰异丝氨酸(20℃)	3.188(+1)	8.207(0)		
DL-正亮氨酸	2.335(+1)	9.834(0)		
L-异亮氨酸	2.318(+1)	9.758(0)		
L-亮氨酸	2.328(+1)	9.744(0)		
亮氨酸乙酯(I=0.1mol·kg^{-1})	7.57(+1)			
2′-氟苯丙氨酸	2.14(+1)	9.01(0)		
3′-氟苯丙氨酸	2.10(+1)	8.98(0)		
4-氟苯丙氨酸	2.13(+1)	9.05(0)		
DL-2-氨基戊酸(DL-正缬氨酸)	2.318(+1)	9.808		
3-氨基戊酸	4.02(+1)	10.399(0)		
4-氨基戊酸	3.97(+1)	10.46(0)		
5-氨基戊酸	4.20(+1)	9.758(0)		
5-氨基戊酸,乙酯	10.151			
2-氨基-4,4,4-三氟丁酸		8.171(0)		
3-氨基-4,4,4-三氟丁酸		5.831(0)		
2-氨基己酸	2.335(+1)	9.834(0)		
6-氨基己酸	4.373(+1)	10.804(0)		
2-氨基-N-甘氨酰丁酸	3.155(+1)	8.331(0)		
2-氨基-2-甲基丙酸	2.357(+1)	10.205(0)		
2-氨基-3-甲基戊酸	2.320(+1)	9.758(0)		
N-氨基甲酰基-α-D-丙氨酸	3.89(+1)			
N-氨基甲酰基-β-丙氨酸	4.99(+1)			
DL-N-氨基甲酰基丙氨酸	3.892(+1)			
N-氨基甲酰基甘氨酸	3.876			
氨基丙二酸	3.32(+1)	9.83(0)		
α-氨基丙酸	2.34(+1)	9.87(0)		
α-氨基丙酸甲酯(I=0.10mol·kg^{-1})	7.743(+1)			
β-氨基丙酸	3.55(+1)	10.238(0)		
β-氨基丙酸甲酯(I=0.10mol·kg^{-1})	9.170(+1)			
3-氨基丙酸	3.551(+1)	10.235(0)		
2-氨基丁酸	2.286(+1)	9.830(0)		
3-氨基丁酸	—	10.14(0)		

续表

物　质	pK_1	pK_2	pK_3	pK_4
4-氨基丁酸	4.031(+1)	10.556(0)		
2-氨基丁酸，甲酯(c=0.1mol·L^{-1})	7.640(+1)			
4-氨基丁酸，甲酯(c=0.1mol·L^{-1})	9.838(+1)			
2-氨基-N-氨基甲酰基丁酸	3.886(+1)			
4-氨基-N-氨基甲酰基丁酸	4.683(+1)			
2-氨基-N-氨基甲酰基-2-甲基丙酸	4.463			
DL-2-氨基-4-巯基丁酸	2.22(+1)	8.87(0)	10.86(SH)	
L-2-氨基-3-羟基丁酸(苏氨酸)	2.088(+1)	9.100(0)		
DL-2-氨基-4-羟基丁酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.265(+1)	9.257(0)		
DL-4-氨基-3-羟基丁酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.834(+1)	9.487(0)		
高胱氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	1.593(+2)	2.523(+1)	8.676(0)	9.413(−1)
DL-高半胱氨酸	2.222(+1)	8.87	10.86	
N-(2′-氯乙酰)甘氨酸	3.38(0)			
2-氯苯丙氨酸	2.23(+1)	8.94(0)		
3-氯苯丙氨酸	2.17(+1)	8.91(0)		
DL-4-氯苯丙氨酸	2.08(+1)	8.96(0)		
α-羟基天冬酰胺	2.28(+1)	7.20(0)		
β-羟基天冬酰胺	2.09(+1)	8.29(0)		
羟基天冬氨酸	1.91(+1)	3.51(0)	9.11(−1)	
L-β-羟基谷氨酸	2.09	4.18	9.20	
4-羟基脯氨酸，反式	1.818(+1)	9.662(0)		
L-赖氨酰-L-丙氨酸	3.22(+1)	7.62(0)	10.70(−1)	
L-赖氨酰-D-丙氨酸	3.00(+1)	7.74(0)	10.63(−1)	
赖氨酰谷氨酸	2.93(+2)	4.47(+1)	7.75(0)	10.50(−1)
L-赖氨酰-D-赖氨酰-L-赖氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.91(+2)	7.29(+1)	9.79(0)	10.54(−1)
L-赖氨酰-D-赖氨酰-D-赖氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.94(+2)	7.15(+1)	9.60(0)	10.38(−1)
L-赖氨酰-L-赖氨酰-L-赖氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.08(+2)	7.34(+1)	9.80(0)	10.54(−1)
L-赖氨酰-L-赖氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	3.01(+2)	7.53(+1)	10.05(0)	10.01(−1)
L-赖氨酰-D-赖氨酸(I=0.1mol·kg^{-1})	2.85(+2)	7.53(+1)	9.92(0)	10.89(−1)
L-(+)-赖氨酸	2.18(+2)	8.95(+1)	10.53(0)	
赖氨酸，甲酯(I=0.1mol·kg^{-1})	6.965(+1)	10.251(0)		
酪氨酰精氨酸(I=0.01mol·kg^{-1})	2.65(+1)	7.39(0)	9.36(−1)	11.62(−2)
酪氨酰酪氨酸	3.52(+1)	7.68(0)	9.80(−1)	10.26(−2)
酪氨酸酰胺	7.48	9.89		
DL-酪氨酸	2.18(+1)	9.21(0)	10.47(OH)	
酪氨酸，乙酯	7.33	9.80		
缬氨酸酰胺(I=0.2mol·kg^{-1})	8.00			
L-缬氨酰甘氨酸	3.23(+1)	8.00(0)		
DL-缬氨酸	2.286(+1)	9.719(0)		
L-缬氨酸	2.996(+1)	9.79(0)		
L-缬氨酸，甲酯	7.49(+1)			
蝶酰谷氨酸；叶酸；维生素 Bc	8.26			
β-(4′-磺氨基苯基)丙氨酸	1.99(+1)	8.64(0)	10.26(−1)	
L-磺基丙氨酸(3-磺基-L-丙氨酸)	1.89(+1)	8.7(0)		
O-磷酰基丝氨酸甘氨酸	3.13	5.41	8.01	
O-磷酰基-L-丝氨酸-L-亮氨酸	3.11	5.47	8.26	
磷酸丝氨酸	2.08	5.65	9.74	

第七节 金属离子配位络合物的基本参数

一、金属络合物形成常数

表 1-79、表 1-80 中所列的数据系配位体 L 与中心金属离子的累积形成常数的对数值。即

	累积形成常数	逐级形成常数
M+L=ML；	K_1	k_1
M+2L=ML_2；	β_2	$k_1\,k_2$
……………		
M+nL=ML_n	β_n	$k_1\,k_2\cdots\cdots k_n$

以表 1-79 中锌氨络合物为例，表示下列平衡：

$$Zn^{2+}+NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)^{2+};\qquad K_1=\frac{[Zn(NH_3)^{2+}]}{[Zn^{2+}][NH_3]}$$

$$Zn^{2+}+2NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_2^{2+};\qquad \beta_2=\frac{[Zn(NH_3)_2^{2+}]}{[Zn^{2+}][NH_3]^2}$$

$$Zn^{2+}+3NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_3^{2+};\qquad \beta_3=\frac{[Zn(NH_3)_3^{2+}]}{[Zn^{2+}][NH_3]^3}$$

$$Zn^{2+}+4NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_4^{2+};\qquad \beta_4=\frac{[Zn(NH_3)_4^{2+}]}{[Zn^{2+}][NH_3]^4}$$

如果要求以反应的逐级形成常数表示，则第 1 级 $\lg K_1=\lg k_1=2.37$，对第 2 级及其后继各级，它的平衡及其相应的常数表示如下：

$$Zn(NH_3)^{2+}+NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_2^{2+};\qquad \lg k_2=\lg\beta_2-\lg K_1=2.44$$

$$Zn(NH_3)_2^{2+}+NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_3^{2+};\qquad \lg k_3=\lg\beta_3-\lg\beta_2=2.50$$

$$Zn(NH_3)_3^{2+}+NH_3 \rightleftharpoons Zn(NH_3)_4^{2+};\qquad \lg k_4=\lg\beta_4-\lg\beta_3=2.15$$

络合物形成常数又称络合物稳定常数，络合物形成常数愈大，表示形成的络合物愈稳定。它的倒数表示络合物的解离程度，叫络合物的不稳定常数。即 $-\lg K_f=\lg K_{不稳}$

络合物形成常数与离子强度及温度有关，离子强度愈大，温度愈高，形成常数就愈小。除另加说明者外表 1-79 中所列数据，指温度在 20℃～25℃，离子强度 $I=0$。但对表 1-80 所列的有机配位体常指有限的离子强度。

表 1-79 金属离子与无机配位体络合物的累积形成常数

表中符号说明：(a) ～ (d) 指在不同浓度的、正负离子均为 1 价的电解质（如 KNO_3）溶液中所测得的数值。(a) 0.1mol・L^{-1}；(b) 1mol・L^{-1}；(c) 2mol・L^{-1}；(d) 0.5mol・L^{-1}。

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
NH_3	Ag^+	3.24	7.05				
	Au^{3+}				10.3		
	Cd^{2+}	2.65	4.75	6.19	7.12	6.80	5.14
	Co^{2+}	2.11	3.74	4.79	5.55	5.73	5.11
	Co^{3+}	6.7	14.0	20.1	25.7	30.8	35.2
	Cu^+	5.93	10.86				
	Cu^{2+}	4.31	7.98	11.02	13.32	12.86	
	Fe^{2+}	1.4	2.2				

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
NH_3	CH_3Hg^+	7.60					
	Hg^{2+}	8.8	17.5	18.5	19.28		
	Mn^{2+}	0.8	1.3				
	Ni^{2+}	2.80	5.04	6.77	7.96	8.71	8.74
	Pd^{2+}	9.6	18.5	26.0	32.8		
	Pt^{2+}						35.3
	Zn^{2+}	2.37	4.81	7.31	9.46		
Br^-	Ag^+	4.38	7.33	8.00	8.73		
	At (AtBr)	2.51					
	Au		12.46				
	Bi^{3+}	2.37	4.20	5.90	7.30	8.20	8.30
	Cd^{2+}	1.75	2.34	3.32	3.70		
	Ce^{3+}	0.42					
	Cu^+		5.89				
	Cu^{2+}	0.30					
	Fe^{3+}	−0.30	−0.50				
	Hg^{2+}	9.05	17.32	19.74	21.00		
	In^{3+}	1.30	1.88				
	Pb^{2+}	1.77	2.60	3.00	2.3		
	Pd^{2+}	5.17	9.42	12.70	14.9		
	Pt^{2+}				20.5		
	Rh^{3+}		14.3	16.3	17.6	18.4	17.2
	Sc^{3+}	2.08	3.08				
	Sn^{2+}	1.11	1.81	1.46			
	Tl^+	0.93					
	Tl^{3+}	9.7	16.6	21.2	23.9	29.2	31.6
	U^{4+}	0.18					
	Y^{3+}	1.32					
Cl^-	Ag^+	3.04	5.04		5.30		
	Am^{3+}	1.17					
	Au^{3+}		9.8				
	Bi^{3+}	2.44	4.7	5.0	5.6		
	Cd^{2+}	1.95	2.50	2.60	2.80		
	Ce^{3+}	0.48					
	Co^{3+}	1.42					
	Cu^+		5.5	5.7			
	Cu^{2+}	0.1	−0.3				
	Cm^{3+}	1.17					
	Fe^{2+}	0.36					
	Fe^{3+}	1.48	2.13	1.99	0.01		
	Hg^{2+}	6.74	13.22	14.07	15.07		
	In^{3+}	1.42	2.23	3.23			
	Mn^{2+}	0.96					
	Pb^{2+}	1.62	2.44	1.70	1.60		
	Pd^{2+}	6.1	10.7	13.1	15.7		
	Pt^{2+}		11.5	14.5	16.0		
	Pu^{3+}	1.17					
	Re^{2+}	2.0					
	Sn^{2+}	1.51	2.24	2.03	1.48		

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
Cl^-	Sb^{3+}	2.26	3.49	4.18	4.72		
	Sn^{4+}						
	Tl^+	0.52					4
	Tl^{3+}	8.14	13.60	15.78	18.00		
	Th^{4+}	1.38	0.38				
	U^{4+}	0.8					
	UO_2^{2+}	0.22					
	Zn^{2+}	0.43	0.61	0.69	0.36		
	Zr^{4+}	0.9	1.3	1.5	1.2		
CN^-	Ag^+		21.1	21.7	20.6		
	Au^+		38.3				
	Cd^{2+}	5.48	10.60	15.23	18.78		
	Cu^+		24.0	28.55	30.30		
	Fe^{2+}		38.3				
	Fe^{3+}						35
	Hg^{2+}	18.00	24.71	28.54	31.4		42
	$CH_3 \cdot Hg^+$	13.80					
	Ni^{2+}				31.3		
	Zn^{2+}	5.3	11.70	16.70	21.60		
F^-	Al^{3+}	6.11	11.12	15.00	18.00	19.40	19.80
	Am^{3+}	3.39	6.11	9.00			
	Be^{2+}	4.99	8.80	11.60	13.10		
	Bi^{3+}	1.42					
	Ca	0.6					
	Cd	0.46	0.53				
	Ce^{3+}	3.20					
	Cm^{3+}	3.34	6.18	9.10			
	Co^{2+}	0.4					
	Cr^{3+}	4.36	8.70	11.20			
	Cu^{2+}	0.9					
	Dy^{3+}	3.46					
	Fe^{2+}	0.8					
	Fe^{3+}	5.28	9.30	12.06		15.77	
	Ga^{3+}	4.49	8.00	10.50			
	Hf^{4+}	9.0	16.5	23.1	28.8	34.0	38.0
	Hg^{2+}	1.03					
	In^{3+}	3.70	6.40	8.60	9.80		
	La^{3+}	2.77					
	Mg^{2+}	1.30					
	Mn^{2+}	5.48					
	Mn^{3+}	5.65					
	Ni^{2+}	0.50					
	Np^{4+}	8.3	14.5	20.6	25.4		
	Pa^{4+}	8.03	14.86				
	Pb^{2+}	1.44	2.54				
	Pr^{3+}	3.01					
	Pu^{3+}	6.77					
	Sb^{3+}	3.0	5.7	8.3	10.9		
	Sc	6.18	11.44	15.48	18.38		

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
F^-	Sn^{2+}	4.08	6.68	9.50			
	$(CH_3)_2Sn^{2+}$	3.70	6.57	8.00			
	CH_3Sn^{3+}	5.10	9.85	14.00	17.10	19.30	
	Th^{4+}	8.44	15.08	19.80	23.20		
	TiO^+	6.44					
	TiO^{2+}	5.4	9.8	13.7	18.0		
	U^{4+}	9.0	15.7	21.2			
	UO_2^{2+}	5.54	7.97	10.55	12.00		
	VO^{2+}	3.37	5.74	7.29	8.10		
	VO_2^+	3.04	5.60	6.90	7.00		
	Y^{3+}	4.8	8.5	12.1			
	Zn^{2+}	0.78					
	Zr^{4+}	9.4	17.2	23.7	29.5	33.5	38.3
NO_3^-	Ba^{2+}	0.92					
	Be^{2+}	1.62					
	Bi^{3+}	1.26					
	Ca^{2+}	0.28					
	Cd^{2+}	0.40					
	Ce^{3+}	1.04	2.55				
	Cm^{3+}	0.57					
	Hf^{4+}	0.92	2.43	4.32	6.40	8.48	10.29
	Fe^{3+}	1.0					
	La^{3+}	0.26	0.69	1.27			
	Pb^{2+}	1.18					
	Hg^{2+}	0.35					
	Nd^{3+}	0.52	1.18				
	Np^{4+}	0.38					
	Pu^{3+}	0.77	1.93	3.09			
	Pu^{4+}	0.54					
	Sr^{2+}	0.82					
	Tl^+	0.33					
	Tl^{3+}	0.92					
	Th^{4+}	0.78	1.89	2.89	3.63		
	U^{4+}	0.20	0.37				
	UO_2^{2+}	0.34	0.45				
	Y^{3+}	0.45	1.30	2.42			
	ZrO^{2+}		1.91		3.54		
IO_3^-	Ba^{2+}	1.05					
	Ca^{2+}	0.89					
	Mg^{2+}	0.72					
	Sr^{2+}	1.00					
	Th^{4+}	2.88	4.79	7.15			
OH^-	Ag^+	2.0	3.99				
	Al^{3+}	9.27			33.03		
	Am^{3+}	7.9					
	$As^{3+}(AsO^+)$	14.33	18.73	20.60	21.20		
	Be^{2+}	9.7	14.0	15.2			
	Bi^{3+}	12.7	15.8		35.2		
	Ca^{2+}	1.3					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
OH^-	Cd^{2+}	4.17	8.33	9.02	8.62		
	Ce^{3+}	4.6					
	Ce^{4+}	13.28	26.46				
	Cf^{3+}	8.2					
	Cm^{3+}	7.9					
	Co^{2+}	4.3	8.4	9.7	10.2		
	Cr^{3+}	10.1	17.8		29.9		
	Cu^{2+}	7.0	13.68	17.00	18.5		
	Dy^{3+}	5.2					
	Er^{3+}	5.4					
	Eu^{3+}	5.42					
	Gd^{3+}	4.6					
	Ga^{3+}	11.0	21.7		34.3	38.0	40.3
	Fe^{2+}	5.56	9.77	9.67	8.58		
	Fe^{3+}	11.87	21.17	29.67			
	Hf^{4+}	13.7			52.8		
	Hg^{2+}	10.6	21.8	20.9			
	CH_3Hg^+	9.24					
	Ho^{3+}	5.69					
	I_2	9.49	11.24				
	In^{3+}	10.0	20.2	29.6	38.9		
	La^{3+}	3.3					
	Lu^{3+}	6.6					
	Mg^{2+}	2.58					
	Mn^{2+}	3.9		8.3			
	Nd^{3+}	5.5					
	Ni^{2+}	4.97	8.55	11.33			
	Np^{4+}	12.5					
	NpO_2^{2+}	8.9					
	OsO_4	1.8	1.1				
	Pa^{4+}	14.04	27.84	40.7	51.4		
	Pb^{2+}	7.82	10.85	14.58			
	Pd^{2+}	13.0	25.8				
	Pr^{3+}	4.30					
	Pu^{3+}	7.0					
	Pu^{4+}	12.39					
	$Pu^{4+}(PuO_2^{2+})$	8.3	16.6	20.9			
	Sb^{3+}		24.3	36.7	38.3		
	Sc^{3+}	8.9					
	Sm^{3+}	4.8					
	Sn^{2+}	10.4					
	$(CH_3)_2Sn^{2+}$	10.53	19.04	29.80	43.40		
	Te^{4+}			41.6	53.0	64.8	72.0
	Th^{3+}	12.86	25.37				
	Tc^{3+}	12.71					
	U^{4+}	13.3				41.2	
	UO_2^{2+}	9.5	22.80		32.4		
	V^{3+}	11.1	21.6				
	$V^{4+}(VO^{2+})$	8.6					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
OH^-	$V^{5+}(VO^{3+})$		25.2		16.2	58.5	
	Y^{3+}	5.0					
	Zn^{2+}	4.40	11.30	14.14	17.66		
	Zr^{4+}	14.3	28.3	41.9	55.3		
I^-	Ag^+	6.58	11.74	13.68			
	Bi^{3+}	3.63			14.95	16.80	18.80
	Cd^{2+}	2.10	3.43	4.49	5.41		
	Cu^+		8.85				
	Fe^{3+}	1.88					
	In^{3+}	1.00	2.26				
	Hg^{2+}	12.87	23.82	27.60	29.83		
	CH_3Hg^+	8.60	8.86				
	$C_2H_5Hg^+$		−0.67	0.75			
	Pb^{2+}	2.00	3.15	3.92	4.47		
	Pd^{2+}				24.5		
	Tl^+	0.72	0.90	1.08			
	Tl^{3+}	11.41	20.88	27.60	31.82		
$P_2O_7^{4-}$	Ba^{2+}	4.6					
	Ca^{2+}	4.6					
	Cd^{3+}	5.6					
	Ce^{3+}	17.15					
	Cu^{2+}	6.7	9.0				
	Co^{2+}	6.1					
	Hg^{2+}		12.38				
	La^{3+}	16.72	18.57				
	Mn^{3+}	16.68	31.85				
	Mg^{2+}	5.7					
	Ni^{2+}	5.8	7.4				
	Pb^{2+}	7.3	10.15				
	Sr^{2+}	4.7					
	Y^{3+}		9.7				
	Yb^{3+}	17.5	19.4				
	Zr^{4+}		6.5				
	Zn^{2+}	8.7	11.0				
SO_4^{2-}	Ag^+	1.3					
	Ba^{2+}	2.7					
	Be^{2+}	1.95					
	Bi^{3+}	1.98	3.41	4.08	4.34	4.60	
	Ce^{3+}	3.59	5.20				
	Fe^{3+}	4.04	5.38				
	Er^{3+}	3.58					
	Gd^{3+}	3.66					
	Hg^{2+}	1.34	2.40				
	Ho^{3+}	3.58					
	In^{3+}	1.78	1.88	2.36			
	La^{3+}	3.64	5.29				
	Nd^{3+}	3.64	5.10				
	Ni^{2+}	2.4					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
SO_4^{2-}	Pb^{2+}	2.75					
	Pu^{4+}	3.66					
	Pr^{3+}	3.62	4.92				
	Sm^{3+}	3.66	5.20				
	Th^{4+}	3.32	5.50				
	U^{4+}	3.24	5.42				
	U^{6+}	1.70	2.45	3.30			
	Y^{3+}	3.47	5.30				
	Yb^{3+}	3.58	5.20				
	Zr^{4+}	3.79	6.64	7.77			
SO_3^{2-}	Cu^+	7.5	8.5	9.2			
	Ag^+	5.30	7.35				
	Hg^{2+}		22.66				
SCN^-	Ag^+	4.6	7.57	9.08	10.08		
	Au^+	15.27	16.98				
	Bi^{3+}	1.67	3.00	4.00	4.80	5.50	6.10
	Cd^{2+}	1.39	1.98	2.58	3.6		
	Cr^{3+}	1.87	2.98				
	Co^{2+}	−0.04	−0.70	0	3.00		
	Cu^+	12.11	5.18				
	Cu^{2+}	1.90	3.00				
	Fe^{3+}	2.21	3.64	5.00	6.30	6.20	6.10
	In^{3+}	2.58	3.00	4.63			
	Hg^{2+}	9.08	16.86	19.70	21.70		
	Ni^{2+}	1.18	1.64	1.81			
	Pb^{2+}	0.78	0.99	1.00			
	Ru^{3+}	1.78					
	Sn^{2+}	1.17	1.77	1.74			
	Tl^+	0.80					
	Th^{4+}	1.08	1.78				
	U^{4+}	1.49	2.11				
	UO_2^{2+}	0.76	0.74	1.18			
	V^{3+}	2.0					
	V^{5+}	0.92					
	Zn^{2+}	1.33	1.91	2.00	1.60		
$S_2O_3^{2-}$	Cd^{2+}	3.92	6.44				
	Ag^+	8.82	13.46				
	Cu^+	10.27	12.22	13.84			
	Fe^{3+}	2.10					
	Hg^{2+}		29.44	31.90	33.24		
	Pb^{2+}		5.13	6.35			
联氨	H^+(30℃,b)	7.87					
N_2H_4	Mn^{2+}(30℃,b)	4.76					
	Co^{2+}(30℃,b)	1.78	3.34				
	Ni^{2+}(30℃,b)	2.76	5.20	7.35	9.20	10.75	11.99
	Cu^{2+}(30℃,b)	6.67					
	Zn^{2+}(30℃,b)	3.69	6.69				
羟胺	H^+(b)	6.06					
NH_2OH	Cr^{2+}(b)	$K_f[CrCl^+L]$ =0.18					

续表

配位体	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$	$\lg\beta_5$	$\lg\beta_6$
羟胺	Mo^{6+}(20℃)	$K_f(H_2Mo_{11}O_{36}L^{4-})=384$					
NH_2OH	Mn^{2+}(20℃,d)	0.5					
	Co^{2+}(20℃,d)	0.9					
	Ni^{2+}(20℃,d)	1.5					
	Ag^{+}(20℃,d)	1.9	4.9				
	Cu^{2+}(20℃,d)	2.4	4.1				
	Zn^{2+}(20℃,d)	0.4	1.01				
	Pt^{2+}(a)	(a)					

表 1-80 金属离子与有机配位体络合物的累积形成常数

除另加说明者外，均指 25℃，$I\approx0$。

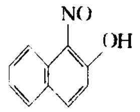
表中符号说明：(a) ～ (d) 各项标注说明同表 1-79。

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
乙酸	Ag^{+}	0.73	0.64		
CH_3COOH (HL)	Am^{3+}	1.99	3.28	3.90	
	Ba^{2+}	0.41			
	Be^{2+}	1.62	2.36		
	Ca^{2+}	0.6			
	Cd^{2+}	1.5	2.3	2.4	
	Ce^{3+}	1.68	2.69	3.13	3.18
	Cm^{3+}	2.06	3.09		
	Co^{2+}	1.5	1.9		
	Cr^{3+}	4.63	7.08	9.60	
	Cu^{2+} (20℃)	2.16	3.20		
	Fe^{2+} (a)	3.2	6.1	8.3	
	Fe^{3+} (20℃, b)	3.38	6.50	8.30	
	Hg^{2+} (30℃)	5.50	9.30	13.28	17.06
	In^{3+}	3.50	5.95	7.90	9.08
	La^{3+} (20℃, c)	1.56	2.48	2.98	2.95
	Mn^{2+}	9.84	2.06		
	Ni^{2+}	1.12	1.81		
	Pb^{2+}	2.52	4.0	6.4	8.5
	Sn^{2+}	3.3	6.0	7.3	
	Tl^{3+}	6.17	11.28	15.10	18.3
	UO_2^{2+} (20℃, c)	2.38	4.36	6.34	
	Y^{3+} (20℃, c)	1.53	2.65	3.38	
	Zn^{2+}	1.5			
乙酰丙酮	Al^{3+} (30℃)	8.6	15.5		
$CH_3COCH_2COCH_3$ (HL)	Be^{2+}	7.8	14.5		
	Cd^{2+}	3.84	6.66		
	Ce^{3+}	5.30	9.27	12.65	
	Cr^{2+}	5.96	11.7		
	Co^{2+}	5.40	9.54		
	Cu^{2+}	8.27	16.34		
	Dy^{3+} (30℃)	6.03	10.70	14.04	
	Er^{3+} (30℃)	5.99	10.67	14.09	
	Eu^{3+} (30℃)	5.87	10.35	13.64	
	Fe^{2+} (30℃)	5.07	8.67		

续表

络 合 剂	金属离子	lgK_1	lgβ_2	lgβ_3	lgβ_4
乙酰丙酮	Fe^{3+} (30℃)	11.4	22.1	26.7	
$CH_3COCH_2COCH_3$ (HL)	Ga^{3+} (30℃)	9.5	17.9	23.6	
	Gd^{3+} (30℃)	5.9	10.38	13.79	
	Hf^{4+}	8.7	15.4	21.8	28.1
	Hg^{2+}		21.5		
	Ho^{3+}	6.05	10.73	14.13	
	In^{3+}	8.0	15.1		
	La^{3+} (30℃)	5.1	8.90	11.90	
	Lu^{3+} (30℃)	6.23	11.00	13.63	
	Mg^{2+}	3.65	6.27		
	Mn^{2+}	4.24	7.35		
	Mn^{3+}			3.86	
	Nd^{3+}	5.6	9.9	13.1	
	Ni^{2+} (20℃)	6.06	10.77	13.09	
	Pb^{2+}		6.32		
	Pd^{2+} (30℃)	16.2	27.1		
	Pr^{3+} (30℃)	5.4	9.5	12.5	
	Pu^{4+} (a)	10.5	19.7	28.1	34.1
	Sc^{3+} (30℃)	8.0	15.2		
	Sm^{3+} (30℃)	5.9	10.4		
	Tb^{3+} (30℃)	6.02	10.63	14.04	
	Th^{4+}	8.8	16.2	22.5	26.7
	Ti^{3+}	10.43	18.82	24.90	
	Tm^{4+} (30℃)	6.09	10.85	14.33	
	U^{4+} (20℃, a)	8.6	17.0	23.4	29.5
	UO_2^{2+} (30℃)	7.74	14.19		
	VO^{2+}	8.68	15.79		
	V^{2+}	5.4	10.2	14.7	
	Y^{3+} (30℃)	6.4	11.1	13.9	
	Yb^{3+} (30℃)	6.18	11.04	13.64	
	Zn^{2+} (30℃)	4.98	8.81		
	Zr^{4+}	8.4	16.0	23.2	30.1
苯酰丙酮	Ba^{2+}		9.4		
$C_6H_5COCH_2COCH_3$ (HL)	Be^{2+}	12.59	24.01		
(在75%二噁烷中)	Cd^{2+}	7.79	14.36		
	Ce^{3+}	10.09	19.42	27.04	
	Co^{2+}	9.42	17.83		
	Cu^{2+}	12.05	23.01		
	La^{3+}	6.33	11.66	16.78	
	Mg^{2+}	7.69	14.09		
	Mn^{2+}	8.66	15.78		
	Ni^{2+}	9.58	18.00		
	Pb^{2+}	8.84	16.35		
	Pr^{3+}	7.02	13.62	18.74	
	UO_2^{2+}	12.15	23.27		
	Y^{3+}	8.24	14.98		
	Zn^{2+}	9.62	17.90		

续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
1-亚硝基萘酚-〔2〕	Ag^{+}	7.74			
	Cd^{2+}	6.18	11.38		
	Co^{2+}	10.67	22.81		
	Cu^{2+}	11.52	23.37		
(在 75%二噁烷中)	Mg^{2+}	6.2	10.61		
	Nd^{3+}	9.5	17.7	25.6	
	Ni^{2+}	10.75	21.29	28.09	
	Pb^{2+}	9.73	17.3		
	Pr^{3+}	9.04	17.06	23.85	
	Th^{4+} (a)	8.50	16.13	24.03	30.29
	Y^{3+}	9.02	17.74	25.04	
	Zn^{2+}	9.32	17.02		
	Zr^{4+}	3.6			
二苯酰甲烷	Ba^{2+}	6.10	11.50		
$(C_6H_5CO)_2CH_2$ (HL)	Be^{2+}	13.62	26.03		
(在 75%二噁烷中)	Ca^{2+}	7.17	13.55		
	Cd^{2+}	8.67	16.63		
	Ce^{3+}	10.99	21.53	30.38	
	Co^{2+}	10.35	20.05		
	Cu^{2+}	12.98	24.98		
	Cs^{+}	3.42			
	Fe	11.15	21.50		
	K^{+}	3.67			
	Li^{+}	5.95			
	Mg^{2+}	8.54	16.21		
	Mn^{2+}	9.32	11.79		
	Na^{+}	4.18			
	Ni^{2+}	10.83	20.72		
	Pb^{2+}	9.75	18.79		
	Rb^{+}	3.52			
	Sr^{2+}	6.40	12.10		
	Zn^{2+}	10.23	19.65		
8-羟基喹啉-5-磺酸	Ba^{2+}	2.31			
$C_9H_6ONSO_3H$ (H_2L)	Ca^{2+}	3.52			
	Cd^{2+}	7.70	14.20		
	Ce^{3+}	6.05	11.05	14.95	
	Co^{2+}	8.11	15.05	20.41	
	Cr^{3+}	11.0	21.1		
	Cu^{2+}	11.92	21.87		
	Er^{3+}	7.16	13.34	18.56	
	Fe^{2+}	8.4	15.7	21.75	
	Fe^{3+}	11.6	22.8	35.65	
	Gd^{3+}	6.64	12.37	17.27	
	La^{3+}	5.63	10.13	13.83	
	Mg^{2+}	4.79	8.19		
	Mn^{2+}	5.67	10.72		

续表

络　合　剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
8-羟基喹啉-5-磺酸	Nd^{3+}	6.3	11.6	16.0	
$C_9H_6ONSO_3H$ (H_2L)	Ni^{2+}	9.57	18.27	22.9	
	Pb^{2+}	8.53	16.13		
	Pr^{3+}	6.17	11.37	15.67	
	Sm^{3+}	6.58	12.28	17.04	
	Sr^{2+}	2.75			
	Th^{4+}	9.56	18.29	25.92	
	UO_2^{2+}	8.52	15.67		
	VO^{2+}	11.8			
	Zn^{2+}	8.65	16.15		
乳酸	Am^{3+}	2.52			
$CH_3CHOHCOOH$ (HL)	Ba^{2+}	0.64			
	Ca^{2+}	1.42			
	Cd^{2+}	1.70			
	Ce^{3+} (20℃, a)	2.76	4.73	5.96	
	Co^{2+}	1.90			
	Cu^{2+}	3.02	4.85		
	Er^{3+}	2.77	5.11	6.70	
	Eu^{3+}	2.53	4.60	5.88	
	Fe^{3+}	7.1			
	Gd^{3+}	2.53	4.63	5.91	
	Ho^{3+}	2.71	4.97	6.55	
	La^{3+} (20℃, a)	2.60	4.34	5.64	
	Li^{+}	0.20			
	Lu^{3+}	3.27			
	Mg^{2+}	1.37			
	Mn^{2+}	1.43			
	Nd^{3+}	2.47	4.37	5.60	
	Ni^{2+}	2.22			
	Pb^{2+}	2.40	3.80		
	Pr^{3+} (20℃, a)	2.85	4.90	6.10	
	Sc^{3+}	5.2			
	Sm^{3+}	2.56	4.58	5.90	
	Sr^{2+}	0.98			
	Tb^{3+}	2.61	4.73	6.01	
	Th^{4+}	5.5			
	Tm^{3+}	3.19			
	UO_2^{2+}	2.76			
	VO^{2+}	2.68	4.83		
	Y^{3+}	2.53	4.70	6.12	
	Yb^{3+}	2.85	5.27	7.96	
	Zn^{2+}	2.20	3.75		
草　酸	Ag^{+}	2.41			
$C_2H_2O_4$ (H_2L)	Al^{3+}	7.26	13.0	16.3	
	Am^{3+}	4.63	8.35	11.15	
	Ba^{2+}	2.31			
	Be^{2+}	4.08	5.38		
	Ca^{2+}	3.0			
	Cd^{2+}	3.52	5.77		
	Ce^{3+}	6.52	10.5	11.3	

续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
草酸	Co^{2+}	4.79	6.7	9.7	
$C_2H_2O_4$ (H_2L)	Cu^{2+}	6.23	10.27		
	Er^{3+}	4.82	8.21	10.03	
	Fe^{2+}	2.9	4.52	5.22	
	Fe^{3+}	9.4	16.2	20.2	
	Ga^{3+}	6.45	12.38	17.86	
	Gd^{3+}	7.04			
	Hg^{2+}	9.66			
	Hg_2^{2+}		6.98		
	In^{3+}	5.30	10.52		
	La^{3+}	4.3	7.9	10.3	
	Mg^{2+}	3.43	4.38		
	Mn^{2+}	3.97	5.80		
	Mn^{3+}	9.98	16.57	19.42	
	Mo^{3+}	3.38			
	Nd^{3+}	7.21	11.5	>14	
	Ni^{2+}	5.3	7.64	~8.5	
	NpO_2^{2+}	3.3	7.07		
	Pb^{2+}	4.91	6.76		
	Pu^{3+}	9.31	18.7	28	
	Pu^{4+}	8.74	16.91	23.39	27.50
	PuO_2^{2+}		11.4		
	Sc^{3+}	6.86	11.31	14.32	16.70
	Sr^{2+}	2.54			
	Tb	5.08	8.86	11.85	13.41
	Th^{4+}				24.48
	TiO^{2+}	2.67			
	Tl^{+}	2.03			
	UO_2^{2+}	4.99	10.64	11.0	
	VO^{2+}		9.80		
	Y^{3+}	6.52	10.10	11.47	
	Yb^{3+}	7.30	11.7	>14	
	Zn^{2+}	4.89	7.60	8.15	
	Zr^{4+}	9.80	17.14	20.86	21.15
邻苯二甲酸	Ba^{2+}	2.33			
$C_6H_4(COOH)_2$ (H_2L)	Ca^{2+}	2.43			
	Cd^{2+}	2.5			
	Co^{2+}	1.81	4.51		
	Cu^{2+}	3.46	4.83		
	La^{3+}		7.74		
	Ni^{2+}	2.14			
	Pb^{2+} (b)	3.4			
	UO_2^{2+}	4.38			
	Zn^{2+}	2.2			
水杨酸	Al^{3+}	14.11			
$C_6H_4(OH)COOH$ (H_2L)	Be^{2+}	12.51	22.16		
	Cd^{2+}	5.55			
	Ce^{3+}	2.66			
	Co^{2+}	6.72	11.42		
	Cr^{2+}	8.4	15.3		

续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
水杨酸 C_6H_4 (OH) COOH (H_2L)	Cu^{2+}	10.60	18.45		
	Fe^{2+}	6.55	11.25		
	Fe^{3+} (20℃, a)	16.48	28.12	36.80	
	La^{3+}	2.64			
	Mg^{2+} (75%二噁烷)	4.7			
	Mn^{2+}	5.90	9.80		
	Nd^{3+}	2.70			
	Ni^{2+}	6.95	11.75		
	Pr^{3+}	2.68			
	Th^{4+}	4.25	7.60	10.05	11.60
	TiO^{2+}	6.09			
	UO_2^{2+}	12.08	20.83		
	V^{2+}	6.3			
	Zn^{2+}	6.85			
丁二酸 $CH_2 \cdot COOH$ | $CH_2 \cdot COOH$ (H_2L)	Ba^{2+}	2.08			
	Be^{2+}	3.08			
	Ca^{2+}	2.0			
	Cd^{2+}	2.2			
	Co^{2+}	2.22			
	Cu^{2+}	3.33			
	Fe^{3+}	7.49			
	Hg^{2+}		7.28		
	La^{3+}	3.96			
	Mg^{2+}	1.20			
	Mn^{2+}	2.26			
	Nd^{3+}	8.1			
	Ni^{2+}	2.36			
	Pb^{2+}	2.8			
	Ra^{2+}	1.0			
	Sr^{2+}	1.06			
	Zn^{2+}	1.6			
5-磺酸-水杨酸 C_6H_3 (OH) COOH (SO_3H) (H_3L)	Al^{3+} (a)	13.20	22.83	28.89	
	Be^{2+} (a)	11.71	20.81		
	Cd^{2+} (a)	16.68	29.08		
	Ce^{3+}	6.83	12.20		
	Co^{2+} (a)	6.13	9.82		
	Cr^{2+} (a)	7.1	12.9		
	Cr^{3+} (a)	9.56			
	Cu^{2+} (a)	9.52	16.45		
	Fe^{2+} (a)	5.9	9.9		
	Fe^{3+} (a)	14.64	25.18	32.12	
	La^{3+} (a)	9.11			
	Mn^{2+} (a)	5.24	8.24		
	NbO^{3+} (a)	4.0	7.7		
	Ni^{2+} (a)	6.42	10.24		
	Tl^{3+}	12.4			
	UO_2^{2+} (a)	11.14	19.20		
	Zn^{2+} (a)	6.05	10.65		

续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$
巯基乙酸 HS·CH_2COOH (H_2L)	Ce^{3+} (20℃, a)	1.99	3.03		
	Co^{2+}	5.84	12.15		
	Fe^{2+}		10.92		
	Hg^{2+}		43.82		
	La^{3+} (20℃, a)	1.98	2.98		
	Mn^{2+}	4.38	7.56		
	Pb^{2+}	8.5			
	Ni^{2+}	6.98	13.53		
	Y^{3+} (20℃, a)	1.91	3.19		
	Zn^{2+}	7.86	15.04		
酒石酸 COOH | CHOH | CHOH (H_2L) | COOH	Ba^{2+}		1.62		
	Bi^{3+}			8.30	
	Ca^{2+}	2.98	9.01		
	Cd^{2+}	2.8			
	Co^{2+}	2.1			
	Cu^{2+}	3.2	5.11	4.78	6.51
	Eu^{3+}	4.98	8.11		
	Fe^{3+}	7.49			
	Hg^{2+}	7.0			
	La^{3+}	3.06			
	Mg^{2+}		1.36		
	Mn^{2+}	2.49			
	Nd^{3+}	9.0			
	Ni^{2+}	2.06			
	Pb^{2+}	3.78		4.7	
	Ra^{2+}	1.24			
	Sn^{2+}	5.2			
	Sr^{2+}	1.60			
	Zn^{2+}	2.68	8.32		
硫脲 NH_2CSNH_2 (L)	Ag^+	7.4	13.1		
	Bi^{3+}	($\lg\beta_6=11.9$)			
	Cd^{2+}	0.6	1.6	2.6	4.6
	Cu^+			13	15.4
	Hg^{2+}		22.1	24.7	26.8
	Pb^{2+}	1.4	3.1	4.7	8.3
	Ru^{3+}	1.21		0.72	
8-羟基喹啉 C_9H_6N (OH) (HL)	Ag^+	5.20	9.56		
	Ba^{2+}	2.07			
	Be^{2+}	3.36			
	Ca^{2+} (在75%二噁烷中)	7.3	13.2		
	Cd^{2+}	7.2	13.4		
	Ce^{3+} (在50%二噁烷中)	9.15	17.13		
	Co^{2+}	9.1	17.2		
	Cu^{2+}	12.2	23.4		
	Fe^{2+}	8.58	16.93	22.23	
	Fe^{3+}	12.3	23.6	33.9	
	Ga^{3+}	14.5	28.0	40.5	
	La^{3+}	5.85	16.95		
	Mg^{2+} (在50%二噁烷中)	6.38	11.81		
	Mn^{2+} (在50%二噁烷中)	8.28	15.45		

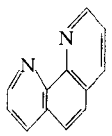
续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
8-羟基喹啉	Ni^{2+}（在50%二噁烷中）	11.44	21.38		
$C_9H_6N(OH)$（HL）	Pb^{2+}（在50%二噁烷中）	10.61	18.70		
	Sm^{3+}	6.84		19.50	
	Sr^{2+}	2.89	6.08		
	Th^{4+}	10.45	20.40	29.85	38.80
	UO_2^{2+}（在50%二噁烷中）	11.25	20.89		
	V^{2+}	12.8	23.6		
	Y^{3+}	8.15	14.90	20.25	
	Zn^{2+}（在50%二噁烷中）	9.96	18.86		
吡啶	Ag^{+}	1.97	4.35		
C_5H_5N（L）	Cd^{2+}	1.40	1.95	2.27	2.50
	Co^{2+}	1.14	1.54		
	Cu^{2+}	2.59	4.33	5.93	6.54
	Fe^{2+}	0.71			
	Hg^{2+}	5.1	10.0	10.4	
	Mn^{2+}	1.92	2.77	3.37	3.50
	Y^{3+}（20℃，b）	8.46	15.73	21.34	
	Yb^{3+}（20℃，b）	8.85	16.61	21.83	
	Zn^{2+}	1.41		1.61	1.93
	Zn^{2+}（20℃，b）	6.35	11.88		
吡啶-2，6-二羧酸	Ba^{2+}（20℃，b）	3.46			
$C_5H_3N(COOH)_2$	Ca^{2+}（20℃，b）	4.6	7.2		
（H_2L）	Cd^{2+}（20℃，b）	5.7	10.0		
	Ce^{3+}（20℃，b）	8.34	14.42	18.80	
	Co^{2+}（20℃，b）	7.0	12.5		
	Cu^{2+}（20℃，b）	9.14	16.52		
	Dy^{3+}（20℃，b）	8.69	16.19	22.14	
	Er^{3+}（20℃，b）	8.77	16.39	22.14	
	Eu^{3+}（20℃，b）	8.84	15.98	21.00	
	Fe^{2+}（20℃，b）	5.71	10.36		
	Fe^{3+}（20℃，b）	10.91	17.13		
	Gd^{3+}（20℃，b）	8.74	16.06	21.83	
	Ho^{3+}（20℃，b）	8.72	16.23	22.08	
	La^{3+}（20℃，b）	7.98	13.79	18.06	
	Lu^{3+}（20℃，b）	9.03	16.80	21.48	
	Hg^{2+}（20℃，b）	20.28			
	Mg^{2+}（20℃，b）	2.7			
	Mn^{2+}（20℃，b）	5.01	8.49		
	Nd^{3+}（20℃，b）	8.78	15.60	20.66	
	Ni^{2+}（20℃，b）	6.95	13.50		
	Pb^{2+}（20℃，b）	8.70	10.60		
	Pr^{3+}（20℃，b）	8.63	15.10	19.94	
	Sm^{3+}（20℃，b）	8.86	15.86	21.23	
	Sr^{2+}（20℃，b）	3.89			
	Tb^{3+}（20℃，b）	8.68	16.11	22.03	
	Tm^{3+}（20℃，b）	8.83	16.54	22.04	
乙二胺	Ag^{+}	4.70	7.70		
（$NH_2CH_2CH_2NH_2$）（L）	Cd^{2+}（20℃）	5.47	10.09	12.09	
	Co^{2+}	5.91	10.64	13.94	

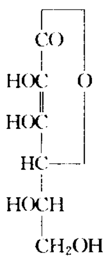
续表

络合剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_1$
乙二胺	Co^{3+}	18.7	34.9	48.69	
($NH_2CH_2CH_2NH_2$) (L)	Cr^{2+}	5.15	9.19		
	Cu^{+}		10.8		
	Cu^{2+}	10.67	20.00	21.0	
	Fe^{2+}	4.34	7.65	9.70	
	Hg^{2+}	14.3	23.3		
	Mg^{2+}	0.37			
	Mn^{2+}	2.73	4.79	5.67	
	Ni^{2+}	7.52	13.84	18.33	
	Pd^{2+}		26.90		
	V^{2+}	4.6	7.5	8.8	
	Zn^{2+}	5.77	10.83	14.11	
乙醇胺	Ag^{+}	3.29	6.92		
($NH_2CH_2CH_2OH$) (L)	Cu^{2+}		6.68		16.48
	Hg^{2+}	8.51	17.32		
甘氨酸	Ag^{+}	3.41	6.89		
(NH_2CH_2COOH) (HL)	Ba^{2+}	0.77			
	Be^{2+}		4.95		
	Ca^{2+}	1.38			
	Cd^{2+}	4.74	8.60		
	Co^{2+}	5.23	9.25	10.76	
	Cu^{2+}	8.60	15.54	16.27	
	Dy^{3+}		12.2		
	Er^{3+}		12.7		
	Fe^{2+} (20℃)	4.3	7.8		
	Fe^{3+} (20℃, b)	10.0			
	Gd^{3+}		11.9		
	Hg^{2+}	10.3	19.2		
	La^{3+}		11.2		
	Mg^{2+}	3.44	6.46		
	Mn^{2+}	3.6	6.6		
	Ni^{2+}	6.18	11.14	15	
	Pb^{2+}	5.47	8.92		
	Pd^{2+}	9.12	17.55		
	Pr^{3+}		11.5		
	Sm^{3+}		11.7		
	Sr^{2+}	0.91			
	Y^{3+}		12.5		
	Yb^{3+}		13.0		
	Zn^{2+}	5.52	9.96		
二甲基乙二醛肟	Cd^{2+}	5.7	10.7		
$H_3C\cdot C=N\cdot OH$	Co^{2+}	9.80	18.94		
| $H_3C\cdot C=N\cdot OH$	Cu^{2+}	12.00	33.44		
(HL)	Fe^{2+}		7.25		
(在50%二噁烷中)	La^{3+}	6.6	12.5		
	Ni^{2+}	11.16	21.88		
	Pb^{2+}	7.3			
	Pd^{2+}		34.1		
	Zn^{2+}	7.7	13.9		

续表

络合剂	金属离子	lgK_1	lgβ_2	lgβ_3	lgβ_4
α，α′-联吡啶	Ag^+	3.65	7.15		
$(C_5H_4N)_2$ (L)	Cd^{2+}	4.26	7.81	10.47	
	Co^{2+}	5.73	11.57	17.59	
	Cr^{2+}	4.5	10.5	14.0	
	Cu^+		14.2		
	Cu^{2+}	8.0	13.60	17.08	
	Fe^{2+}	4.36	8.0	17.45	
	Gd^{3+}	4.52	3.18		
	Hg^{2+}	9.64	16.70	19.50	
	In^{3+}	4.75	8.00		
	Mn^{2+} (b)	4.06	7.84	11.47	
	Mg^{2+}	0.5			
	Ni^{2+}	6.80	13.26	18.46	
	Pb^{2+}	3.0			
	Ti^{3+}			25.28	
	V^{3+}	4.9	9.6	13.1	
	Zn^{2+}	5.30	9.83	13.63	
2-甲基-8-羟基喹啉	Cd^{2+}	9.00	9.00	16.60	
$CH_3 \cdot C_9H_5N(OH)$ (HL)	Ce^{3+}	7.71			
(在50%二噁烷中)	Co^{2+}	9.63	18.50		
	Cu^{2+}	12.48	24.00		
	Fe^{2+}	8.75	17.10		
	In^{3+}	12.2	23.9	35.0	
	Mg^{2+}	5.24	9.64		
	Mn^{2+}	7.44	13.99		
	Ni^{2+}	9.41	17.76		
	Pb^{2+}	10.30	18.50		
	UO_2^{2+}	9.4	17		
	Zn^{2+}	9.82	18.72		
1，10-菲绕啉	Ag^+	5.02	12.07		
	Ca^{2+}	0.7			
(L)	Cd^{2+}	5.93	10.53	14.31	
	Co^{2+}	7.25	13.95	19.90	
	Cu^{2+}	9.08	15.76	20.94	
	Fe^{2+}	5.85	11.45	21.3	
	Fe^{3+}	6.5	11.4	23.5	
	In^{3+}	5.70	10.04	14.00	
	Hg^{2+}		19.65	23.35	
	Mg^{2+}	1.2			
	Mn^{2+}	3.88	7.04	10.11	
	Ni^{2+}	8.80	17.10	24.80	
	Pb^{2+}	4.65	7.5	9	
	Tl^{3+}	11.57	18.30	24.30	
	VO^{2+}	5.47	9.69		
	Zn^{2+}	6.55	12.35	17.55	
甲　酸	Al^{3+} (b)	1.78			
HCOOH (HL)	Ba^{2+}	1.38			
	Ca^{2+}	1.43			

续表

络　合　剂	金属离子		$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
甲　酸	Cd^{2+}	(30℃，b)	1.04	1.23	1.75	
HCOOH (HL)	Ce^{3+}	(b)	1.65			
	Co^{2+}		0.73	1.18		
	Cu^{2+}		2.80			
		(c，在50%二噁烷)				
	Fe^{3+}	(b)	1.85	3.60	3.95	5.4
	Hg^{2+}		5.43			
	In^{3+}		2.74	4.72	5.70	6.70
	Mg^{2+}		1.43			
	Mn^{2+}	(b)	0.80			
	Pb^{2+}	(30℃，b)	0.85	0.98	1.15	
	Sr^{2+}		1.39			
	UO_2^{2+}	(20℃，b)	1.89	3.08	3.55	
	Zn^{2+}	(a)	1.97			
氨基硫脲	Ag^+					13.10
$H_2N\cdot NH\text{-}CS\text{-}NH_2$ (L)	Cd^{2+}		2.57	4.70	5.86	
	Cu^{2+}		6.11	11.59		
	Hg^{2+}	($I=0.8mol\cdot kg^{-1}$)				26.25
	Pb^{2+}		2.89	22.4	24.8	
	Ru^{2+}	(b)	K_f [RuL^{2+}] =0.75			
	Zn^{2+}			2.8		
二巯基丙醇	H^+	(a)	10.79	19.48		
$CH_2SH\cdot CHSH\text{-}CH_2OH$	Fe^{2+}	(30℃，a)		15.78		
(H_2L)	Fe^{3+}		K_f [FeLOH] =30.6			
	Mn^{2+}	(30℃，a)	5.23	10.43		
	Ni^{2+}	(30℃，a)		22.78		
	Zn^{2+}		13.48	23.3		
三乙醇胺	H^+	(a)	8.08			
$N(CH_2CH_2OH)_3$ (HL)	Ag^+	$I<0.01mol\cdot kg^{-1}$		5.28		
	Cd^{2+}	(a)	2.70	4.60	5.21	
	Co^{2+}	(d)	1.73			
	Cu^{2+}	(d)	4.23			
	Hg^{2+}	(d)	6.90	13.08		
	Ni^{2+}	(d)	2.27	3.09		
3-巯基-1，2-丙二醇	H^+		9.46			
$C_3H_5(OH)_2SH$ (HL)	B^{3+}	(a)	−7.79			
抗坏血酸	H^-	(a)	11.34	15.38		
	Ag^+	(a)	3.66			
	Ca^{2+}	($I=0.16mol\cdot kg^{-1}$)	~0.19			
	Cu^{2+}	(0.4℃，a)	K_f [$CuHL^+$] =1.57			
	Sr^{2+}	($I=0.16mol\cdot kg^{-1}$)	~0.35			
	Ti^{4+}	(a)	K_f [$TiO(HL)_2$] =24.8			
			K_f [$TiOH_2L^{2+}$] =3.1			
			K_f [$TiO(H_2L)_2$] =6.25			
(HL)			K_f [$Ti(HL)_3^+$] =39.3			
二乙氨基二硫代甲酸	Ag^+	($I=0.01mol\cdot kg^{-1}$)	8.3			
$(C_2H_5)_2N\text{-}CSSH$ (HL)	75%二噁烷					

续表

络合剂	金属离子		$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
二乙氨基二硫代甲酸		(CCl_4)①	2.58	$K(AgHA+HL \rightleftharpoons AgL+H_2A$②$)$		
$(C_2H_5)_2N\text{-}CSSH(HL)$	As^{3+}	(CCl_4)①	7.93	$K(AsAL+2HL \rightleftharpoons AsL_3+H_2A$②$)$		
	Bi^{3+}	(CCl_4)①	5.72	$K[BiL_3+2HA$①$\rightleftharpoons Bi(HA)_3-3HL]$		
	Cd^{2+}	(CCl_4)①	2.53	$K[Cd(HA)_2+2HL \rightleftharpoons CdL_2-2H_2A$②$]$		
	Cu^{2+}	(CCl_4)①	2.5	$K[Cu(HA)_2+HL \rightleftharpoons CuHAL+H_2A$②$]$		
			2.1	$K[CuHAL+HL \rightleftharpoons CuL_2+H_2A$②$]$		
			4.6	$K[Cu(HA)_2+2HL \rightleftharpoons CuL+2H_2A$②$]$		
			0.35	$K[Cu(HA)_2+CuL \rightleftharpoons 2CuHAL]$		
	Hg^{2+}	(CCl_4)①	2.31	$K[Hg(HA)_2+2HL \rightleftharpoons HgL_2+2H_2A$②$]$		
	Lu^{3+}	(CCl_4)①	4.75	$K[Lu(HA)_3+3HL \rightleftharpoons LuL_3+3H_2A$②$]$		
	Pb^{2+}	(CCl_4)①	4.98	$K[Pb(HA)_2+2HL \rightleftharpoons PbL_2+2H_2A$②$]$		
	Pd^{2+}	(CCl_4)①	1.6	$K[Pd(HA)_2+2HL \rightleftharpoons PdL_2+2H_2A$②$]$		
	Sb^{3+}	(CCl_4)①	2.47	$K[SbAL+2HL \rightleftharpoons SbL_3+H_2A$②$]$		
	Se^{4+}	(CCl_4)①	~6.5	$K[Se(HA)_4+4HL \rightleftharpoons SeL_4+4H_2A$②$]$		
	Te^{4+}	(CCl_4)①	~5.5	$K[Te(HA)_4+4HL \rightleftharpoons TeL_4+4H_2A$②$]$		
	Tl^{+}	(CCl_4)①	3.53	$K[TlHA+HL \rightleftharpoons TlL+H_2A$②$]$		
	Zn^{2+}	(CCl_4)①	0.24	$K[Zn(HA)_2+2HL \rightleftharpoons ZnL_2+2H_2A$②$]$		

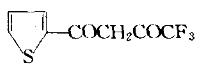
① 在 CCl_4 介质中。

② H_2A＝二苯基硫代卡巴腙。这里的 K 值为二乙氨基二硫代甲酸与二苯基硫代卡巴腙的竞争络合形成常数。

络合剂	金属离子	HL^{2-}阴离子络合物		L^{3-}阴离子络合物		H_2L^-络合物
		$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$
柠檬酸	Ag^+	7.1				
CH_2COOH	Al^{3+}	7.0		20.0		
|	Ba^{2+}	2.98				
$C(OH)COOH$	Be^{2+}	4.52				
|	Ca^{2+}	4.68				
CH_2COOH	Cd^{2+}	3.98		11.3		
(H_3L)	Ce^{3+}		6.18		9.65	3.2
	Co^{2+}	4.8		12.5		
	Cu^{2+}	4.35		14.2		
	Eu^{3+}		6.46		9.80	
	Fe^{2+}	3.08		11.5		
	Fe^{3+}	12.5		25.0		
	La^{3+}		6.97		9.45	6.22
	Mg^{2+}	3.29				
	Mn^{2+}	3.67				
	Nd^{3+}		6.32		9.70	
	Ni^{2+}	5.11		14.3		
	Pb^{2+}	6.50				
	Pr^{3+}					3.4
	Ra^{2-}	2.36				
	Sr^{2+}	2.8				
	Tl^{+}	1.04				
	UO_2^{2+}	8.5	10.8			
	Y^{3+}					3.6
	Yb^{3+}				8	
	Zn^{2+}	4.71		11.4		

续表

络　合　剂	金属离子	$\lg K_f$〔MHL^+〕	$\lg K_f$〔$M(HL)_2$〕
水杨醛肟 $C_6H_4(OH)CHNOH$ (H_2L)	Ba^{2+}	0.53	3.72
	Be^{2+}	<7	
	Ca^{2+}	0.92	3.72
	Cd^{2+}	<4.4	
	Co^{2+}	6.4	8.13
	Cu^{2+}		4.19
	Mg^{2+}	0.64	4.10
	Ni^{2+}		3.77
	Sr^{2+}		3.77
	Zr^{4+}	<5.2	

络　合　剂	金属离子	$\lg K_1$	$\lg\beta_2$	$\lg\beta_3$	$\lg\beta_4$
巯基丁二酸 CHSHCOOH │ CH_2COOH (H_3L)	Ag^+	7.85			
	Co^{2+}	6.88			
	Hg^{2+}	9.94	18.07		
	Ni^{2+}	7.97	12.87		
	Zn^{2+}	8.47	13.75		
半胱氨酸 CH_2SH │ $CH(NH_2)COOH$ (H_2L)	Cd^{2+} ($I=0.2mol\cdot kg^{-1}$)		9.89		
	Co^{2+} (20℃ $I=0.01mol\cdot kg^{-1}$)	9.3	16.9		
	Co^{3+} (20℃ $I=0.01mol\cdot kg^{-1}$)	16.2			
	Cu^+ (b)	19.2			
	Cu^{2+} ($I=0.17mol\cdot kg^{-1}$)		16.0		
	Fe^{2+}	6.2	11.77		
	Fe^{3+}			32.10	
	Hg^{2+} (a)	14.21			
	Mg^{2+} (20℃ $I=0.01mol\cdot kg^{-1}$)	<4			
	Mn^{2+} (a)	4.56			
	Ni^{2+} (a)	9.64	19.04		
	Pb^{2+} (a)	11.39			
	Zn^{2+} (a)	9.04	17.54		
噻吩甲酰三氟丙酮（TTA） 	Ba^{2+}		10.6		
	Cu^{2+}	6.55	13.0		
	Fe^{3+}	10.0			
	Pu^{3+}	9.53			
	Pu^{4+}	8.0			
	Pr^{3+}	9.53			
	Th^{4+}	8.1			
	U^{4+}	7.2			

二、配位体的基本参数

表 1-81 配位体的酸效应系数〔$\lg\alpha_{L(H)}$值〕与各级离解常数（pK_i值）

pH	氨	乙二胺	二氨基丙烷	三氨基丙烷	三乙醇胺	二乙三胺	三氨基三乙胺	三乙四胺	四乙五胺	五乙六胺
0	9.25	16.78	16.33	21.50	7.80	22.41	28.68	28.63	35.18	37.69
1	8.25	14.78	14.33	18.50	6.80	19.41	25.68	24.63	30.18	33.69
2	7.25	12.78	12.33	15.51	5.80	16.43	22.68	20.65	25.22	29.69
3	6.25	10.78	10.33	12.56	4.80	13.57	19.68	16.82	20.46	25.69
4	5.25	8.78	8.33	9.91	3.80	11.16	16.68	13.45	16.22	21.69
5	4.25	6.79	6.34	7.73	2.80	9.08	13.68	10.40	12.53	17.69
6	3.25	4.83	4.43	5.71	1.80	7.07	10.68	7.49	9.35	13.69
7	2.25	3.16	2.87	3.74	0.86	5.07	7.69	4.96	6.35	9.70
8	1.27	1.96	1.75	1.99	0.21	3.10	4.77	2.87	3.55	5.80
9	0.44	0.98	0.80	0.78	0.03	1.33	2.26	1.12	1.37	2.45
10	0.07	0.27	0.18	0.17		0.30	0.65	0.21	0.27	0.57
11	0.01	0.04	0.02	0.02			0.10	0.02	0.03	0.07
12							0.01			0.01

所用的各级离解常数的负对数

	氨	乙二胺	二氨基丙烷	三氨基丙烷	三乙醇胺	二乙三胺	三氨基三乙胺	三乙四胺	四乙五胺	五乙六胺
pK_1	9.25	6.85	6.61	3.80	7.80	3.34	8.64	3.25	3.06	8.58
pK_2		9.93	9.72	8.03		9.13	9.67	6.56	4.80	9.16
pK_3				9.67		9.94	10.37	9.08	8.19	9.73
pK_4								9.74	9.28	10.22
pK_5									9.85	

pH	NDA	CDTA	DTPA	EDTA	TTHA	HEDTA	NTA	EDDP	EDTP	ANDA
0	14.01	23.77	28.07	23.64	34.64	17.90	14.85	16.27	22.80	13.04
1	11.08	19.79	23.11	18.01	28.66	14.91	11.24	14.27	18.80	10.06
2	8.53	15.91	18.46	13.51	22.80	12.00	8.49	12.27	14.84	7.22
3	6.80	12.54	14.61	10.60	17.84	9.45	6.83	10.27	11.18	5.06
4	5.65	9.95	11.58	8.44	14.14	7.33	5.72	8.27	8.48	3.77
5	4.46	7.86	9.17	6.45	10.74	5.44	4.71	6.28	6.39	2.73
6	3.63	6.07	7.10	4.65	7.97	3.99	3.72	4.35	4.44	1.74
7	2.63	4.75	5.10	3.32	5.72	2.90	2.71	2.75	2.80	0.80
8	1.64	3.71	1.64	2.27	3.70	1.90	1.72	1.61	1.64	0.19
9	0.72	2.70	0.62	1.28	1.85	0.94	0.79	0.68	0.70	0.02
10	0.15	1.71	0.12	0.45	0.56	0.25	0.18	0.14	0.15	
11	0.02	0.78	0.01	0.07	0.09	0.03	0.02	0.02	0.02	
12		0.18			0.01					
13		0.02								

所用的各级离解常数的负对数

	NDA	CDTA	DTPA	EDTA	TTHA	HEDTA	NTA	EDDP	EDTP	ANDA
pK_1	1.70	2.43	1.89	0.9	2.46	2.6	0.80	6.69	3.00	2.33
pK_2	2.67	3.52	2.79	1.6	2.52	5.41	1.80	9.58	3.43	2.98
pK_3	9.63	6.12	4.29	2.0	4.00	9.89	2.48		6.77	7.73
pK_4		11.70	8.61	2.67	5.98		9.71		9.60	
pK_5			10.48	6.16	9.35					
pK_6				10.26	10.33					

续表

pH	EDDA	PDTA	EEDTA	EGTA	酒石酸	柠檬酸	乙酰丙酮	邻苯二甲酸	水杨酸	磺基水杨酸
0	16.12	21.17	22.88	22.91	7.32	14.29	8.99	8.37	16.60	14.23
1	14.12	17.82	18.93	18.95	5.32	11.29	7.99	6.37	14.60	12.21
2	12.12	14.19	15.33	15.26	3.36	8.32	6.99	4.42	12.64	10.35
3	10.12	11.36	12.52	12.43	1.64	5.53	5.99	2.69	10.90	8.84
4	8.12	9.17	10.33	10.28	0.53	3.28	4.99	1.46	9.64	7.73
5	6.13	7.17	8.31	8.26	0.09	1.61	3.99	0.56	8.60	6.72
6	4.23	5.34	6.31	6.26	0.01	0.56	2.99	0.10	7.60	5.72
7	2.72	3.99	4.32	4.27		0.10	1.99	0.01	6.60	4.72
8	1.62	2.93	2.37	2.33		0.01	1.03		5.60	3.72
9	0.69	1.93	0.77	0.76			0.30		4.60	2.72
10	0.14	0.97	0.12	0.12			0.04		3.60	1.73
11	0.01	0.26	0.01	0.01					2.60	0.80
12		0.03							1.60	0.18
13									0.70	0.02
所用的各级离解常数的负对数										
pK_1	6.53	1.84	1.80	2.00	2.98	3.13	8.99	2.96	3.0	2.51
pK_2	9.59	2.78	2.76	2.65	4.34	4.76		5.41	13.6	11.72
pK_3		6.22	8.84	8.80		6.40				
pK_4		10.92	9.47	9.46						

pH	醋酸	草酸	碳酸	磷酸	焦磷酸	甘氨酸	氢氰酸	氢氟酸	硫化氢	硫代硫酸
0	4.76	5.56	16.68	21.68	19.74	13.84	9.21	3.18	21.03	2.30
1	3.76	3.73	14.68	18.71	15.85	11.84	8.21	2.18	19.03	0.82
2	2.77	2.35	12.68	15.93	12.46	9.85	7.21	1.21	17.03	0.15
3	1.77	1.30	10.68	13.61	9.94	7.95	6.21	0.40	15.03	0.02
4	0.83	0.46	8.68	11.57	7.86	6.42	5.21	0.06	13.03	
5	0.20	0.07	6.70	9.56	5.86	5.31	4.21		11.03	
6	0.02	0.01	4.84	7.59	3.95	4.29	3.21		9.08	
7			3.42	5.77	2.40	3.29	2.21		7.40	
8			2.34	4.42	1.29	2.29	1.24		6.18	
9			1.35	3.37	0.44	1.31	0.42		5.15	
10			0.50	2.36	0.07	0.47	0.07		4.15	
11			0.08	1.38		0.08			3.15	
12			0.01	0.52					2.15	
13				0.09					1.18	
所用的各级离解常数的负对数										
pK_1	4.76	1.27	6.35	2.12	1.52	3.55	9.21	3.18	6.88	0.6
pK_2		4.27	10.33	7.20	2.36	10.29			14.15	1.6
pK_3				12.36	6.60					
pK_4					9.25					

注：NDA—2-氨基丙二酰脲二乙酸；CDTA—环己二胺四乙酸；DTPA—二乙三胺五乙酸；EDTA—乙二胺四乙酸；TTHA—三乙四胺六乙酸；HEDTA—乙二胺-N-羟乙基-N，N'，N'-三乙酸；NTA—氨三乙酸；EDDP—乙二胺-N，N'-二丙酸；EDTP—乙二胺四丙酸；ANDA—邻氨基苯甲酸-N，N-二乙酸；EDDA—乙二胺-N，N'-二乙酸；PDTA—甲基乙二胺四乙酸；EEDTA—二乙醚二胺四乙酸；EGTA—乙二醇二乙醚二胺四乙酸〔或称为乙二醇双(2-氨基乙醚）四乙酸〕。

三、金属离子和配位体的络合效应系数

表 1-82　各种金属和配位体在不同 pH 下的络合效应系数〔$\lg\alpha_{M(L)}$值〕

金属和配位体[1]	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag																	
OH^-		0.1												0.1	0.5	2.3	5.1
CN^-	0.1	0.1	0.8	2.7	4.7	6.7	8.7	10.7	12.7	14.7	16.7	18.4	19.0	19.2	19.2	19.2	19.2
S^{2-}	0.01	0.1	4.4	5.4	6.4	7.4	8.5	9.9	11.8	13.2	13.7	13.7	13.7	13.8	14.2	14.7	14.8
硫脲	0.1	0.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
NH_3	1	0.1						0.1	0.8	2.6	4.6	6.4	7.2	7.4	7.4	7.4	7.4
	0.1	0.1							0.1	0.8	2.6	4.4	5.2	5.4	5.4	5.4	5.6*
	0.01	0.1								0.1	0.8	2.4	3.2	3.4	3.4	3.4	5.1*
Trien	0.1	0.1								1.2	3.4	5.2	6.4	6.7	6.7	6.7	6.7
EDTA	0.1	0.5					0.1	0.5	1.5	2.6	3.7	4.7	5.5	5.9	6.0	6.0	6.0
	0.01	0.1						0.1	0.9	1.9	3.0	4.0	4.8	5.2	5.3	5.3	5.5*
En	0.1	0.1								0.4	1.7	3.5	4.9	5.5	5.7	5.7	5.8*
Den	0.1	0.1								0.3	1.8	3.6	4.7	5.1	5.1	5.1	5.4*
甘氨酸	0.1	0.1								0.2	1.5	3.4	4.4	4.8	4.8	4.8	5.3*
Cit	0.1	0.2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9*	5.1*
Al																	
OH^-		2						0.4	1.3	5.3	9.3	13.3	17.3	21.3	25.3	20.3	33.3
Cit	0.1	0.5				1.8	5.2	8.6	11.3	13.6	15.6	17.6	19.6	21.8*	25.3*	29.3*	33.3*
Acac	0.01	0.1			0.1	0.6	2.2	4.3	6.8	9.8	12.5	14.6	17.3	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
EDTA	0.1	0.5			1.8	4.1	6.2	8.2	10.3	12.5	14.5	16.5	18.3	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
	0.01	0.1			1.5	3.4	5.5	7.6	9.7	11.8	13.9	15.8	17.8*	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
F^-	0.1	0.5	3.3	6.1	10.0	12.9	14.3	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	17.7*	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
CDTA	0.01	0.1			0.2	2.8	5.5	7.6	9.4	10.8	12.3	14.3*	17.3*	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5		2.4	5.6	8.5	10.7	11.5	11.6	11.6	11.6	13.3*	17.3*	21.3*	25.3*	29.3*	33.3*
Ba																	
OH^-		0.1														0.1	0.5
DTPA	0.01	0.1							0.3	1.6	3.5	5.1	6.1	6.7	6.8	6.8	6.8

续表

金属和配位体[1]	浓度 $c/(\mathrm{mol \cdot L^{-1}})$	离子强度 $I/(\mathrm{mol \cdot kg^{-1}})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ba																	
CDTA	0.01	0.1						0.2	0.7	1.3	2.2	3.2	4.2	5.1	5.8	6.0	6.0
EDTA	0.1	0.5							1.8	3.2	4.2	5.2	6.0	6.2	6.3	6.3	6.3
	0.01	0.1						0.1	1.1	2.4	3.5	4.4	5.3	5.7	5.8	5.8	5.8
NTA	0.1	0.5							0.2	0.8	1.7	2.6	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4
	0.01	0.1								0.3	1.0	1.9	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8
Cit	0.1	0.5						0.5	1.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Tart	0.1	0.5				0.1	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8
Be																	
OH^-		3													0.1	1.1	3.1
SSal	0.1	0.1			0.5	2.1	3.7	5.6	7.6	9.6	11.6	13.6	15.6	17.4	18.6	18.8	18.8
Acac	0.1	0.1			0.1	0.8	2.4	4.3	6.8	8.3	10.1	11.5	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
EDTA	0.1	0.5					0.1	1.6	3.3	4.7	5.7	6.7	7.5	7.7	7.8	7.8	7.8
	0.01	0.1						0.8	2.5	3.9	5.0	5.9	6.8	7.2	7.3	7.3	7.3
Cit	0.1	0.5				0.2	1.1	2.3	3.0	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.5*
Bi																	
OH^-		3		0.1	0.5	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4							
I^-	0.1	2	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8							
Br^-	0.1	2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.8*	5.5*							
Cl^-	0.1	2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	3.5	4.4*	5.4*							
Ca																	
OH^-		0.1														0.3	1.0
CDTA	0.01	0.1					0.5	2.5	4.3	5.6	6.7	7.7	8.7	9.6	10.3	10.5	10.5
EDTA	0.1	0.5															
	0.01	0.1				0.1	1.1	3.2	4.7	6.1	7.1	8.1	8.9	9.1	9.2	9.2	9.2
DTPA	0.01	0.1					0.1	0.8	1.9	3.4	5.3	6.9	7.9	8.5	8.6	8.6	8.6
NTA	0.1	0.5					0.1	0.5	1.3	2.3	3.3	4.2	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0
	0.01	0.1						0.2	0.7	1.6	2.6	3.5	4.2	4.4	4.4	4.4	4.4
Cit	0.1	0.5				0.3	1.0	1.8	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Tart	0.1	0.5				0.2	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9*	1.2*
Ac^-	0.1	0.1						0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3*	1.0*

续表

金属和配位体①	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH														
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cd																	
OH^-		3										0.1	0.5	2.0	4.5	8.1	12.0
CDTA	0.01	0.1		0.1	2.2	4.8	7.1	9.2	11.0	12.3	13.4	14.4	15.4	16.3	17.0	17.2	17.2
DTPA	0.01	0.1			0.4	3.1	5.5	7.6	9.7	11.7	13.6	15.2	16.3	16.9	17.0	17.0	17.0
CN^-	0.1	3					0.1	0.7	2.9	6.2	10.1	13.3	14.5	14.9	14.9	14.9	14.9
EDTA	0.1	0.5		0.3	2.7	4.8	6.8	8.8	10.5	11.9	12.9	13.9	14.7	14.9	15.0	15.0	15.0
	0.01	0.1			1.8	4.0	5.9	7.9	9.7	11.1	12.2	13.2	14.0	14.4	14.5	14.5	14.5
EGTA	0.01	0.1			0.1	1.5	3.3	5.1	7.7	9.1	11.1	12.7	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6
NTA	0.1	0.5			0.4	1.9	3.0	4.0	5.3	6.9	8.9	11.7	12.1	12.3	12.3	12.3	12.5*
	0.01	0.1				1.2	2.3	3.3	4.3	5.4	7.0	8.7	10.1	10.5	10.5	10.5	12.0*
邻菲咯啉	0.01	0.1		0.3	1.4	3.5	0.3	8.4	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	12.0*
Den	0.1	0.1						0.1	1.3	3.7	5.5	9.1	11.3	11.9	11.9	11.9	12.3*
Trien	0.1	0.1						0.4	2.2	4.4	6.5	8.3	9.5	9.8	9.8	9.8	12.0*
吡啶羧酸	0.1	0.1			0.5	1.8	4.1	6.3	7.5	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	8.3*	12.0*
NH_3	1	0.1							0.1	0.5	2.3	5.1	6.7	7.1	7.1	8.1*	12.0*
	0.1	0.1								0.1	0.5	2.0	3.0	3.6	4.5	8.1*	12.0*
	0.01	0.1									0.1	0.6	1.4	2.0	4.5	8.1*	12.0*
Cit	0.1	0.5				0.1	0.8	2.0	2.7	3.0	3.1	3.5	4.3	5.3	6.3	8.2*	12.0*
Acac	0.1	0.1							0.1	0.9	2.3	3.6	4.0	4.0	4.6	8.1*	12.0*
TEA	0.25	0.2									1.9	2.2	2.8	3.7	4.5*	8.1*	12.0*
I^-	0.1	0.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	4.5*	8.1*	12.0*
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5			0.2	1.8	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8*	4.5*	8.1*	12.0*
Tart	0.1	0.5				0.6	1.4	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.2*	4.5*	8.1*	12.0*
Ac^-	0.1	1					0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	2.0*	4.5*	8.1*	12.0*
Ce^{4+}																	
OH^-		1—2	0.1	1.2	3.1	5.1	7.1	9.1	11.1	13.1							
SO_4^{2-}	0.1	2	2.5	4.8	6.8	7.4	7.6	9.1	11.1	13.1							
Co^{2+}																	
OH^-		0.1									0.1	0.4	1.1	2.2	4.2	7.2	10.2
邻菲咯啉	0.01	0.1	0.4	2.1	4.8	7.8	10.8	12.9	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8

续表

金属和配位体[1]	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH														
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Co^{2+}																	
DTPA	0.01	0.1			1.0	3.8	6.0	7.8	9.7	11.7	13.6	15.2	16.3	16.9	17.0	17.0	17.0
CDTA	0.01	0.1			1.8	4.4	6.8	8.9	10.7	12.0	13.1	14.1	15.1	16.0	16.7	16.9	16.9
EDTA	0.1	0.5		0.2	2.6	4.7	6.6	8.6	10.3	11.7	12.7	13.7	14.5	14.7	14.8	14.8	14.8
EDTA	0.01	0.1			1.7	3.5	5.7	7.7	9.5	10.9	12.0	13.0	13.8	14.2	14.3	14.3	14.3
Tetren	0.1	0.1						1.3	4.6	7.6	10.4	12.7	13.7	14.1	14.1	14.1	14.1
NTA	0.1	0.5			0.8	2.4	3.5	4.5	5.6	7.1	9.0	10.8	12.2	12.4	12.4	12.4	12.4
	0.01	0.1			0.3	1.7	2.8	3.8	4.8	5.9	7.2	8.8	10.2	10.6	10.6	10.6	10.8*
Den	0.1	0.1							0.2	2.1	5.7	9.3	11.5	12.1	12.1	12.1	12.1
吡啶羧酸	0.1	0.1		0.6	2.0	4.3	7.2	9.6	10.8	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
EGTA	0.01	0.1					0.3	1.9	3.9	5.9	7.9	9.5	10.2	10.3	10.3	10.3	10.6*
Trien	0.1	0.1						0.3	2.1	4.5	6.7	8.5	9.7	10.0	10.0	10.0	10.4*
Cit	0.1	0.5				0.5	1.5	2.5	3.1	3.4	3.8	4.5	5.5	6.7	7.5	8.5	10.3*
SSal	0.1	0.1							0.1	0.5	1.5	2.8	4.6	6.4	7.6	7.9	10.2*
Acac	0.1	0.1						0.4	1.6	3.3	5.1	6.5	6.9	6.9	6.9	7.4*	10.2*
NH_3	<1	0.1								0.2	1.2	3.7	5.3	5.7	5.8	7.2*	10.2*
	0.1	0.1									0.2	1.0	1.8	2.9*	4.9*	7.2*	10.2*
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5	0.1	0.5	1.0	2.0	3.2	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	4.3*	7.2*	10.2*
Tart	0.1	0.5				0.2	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2*	4.2*	7.2*	10.2*
Cu																	
OH^-		0.1									0.2	0.8	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7
Tetren	0.1	0.1			2.8	6.3	9.4	12.0	14.8	17.6	20.3	22.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
EDTA	0.1	0.5		1.9	4.6	6.8	8.7	10.7	12.5	13.9	15.0	16.0	16.8	17.3	18.0	18.9	19.9
	0.01	0.1		1.5	4.2	6.3	8.2	10.2	12.0	13.4	14.5	15.5	16.3	16.8	17.5	18.4	19.4
CDTA	0.01	0.1		1.5	4.4	6.9	9.2	11.3	13.1	14.4	15.5	16.7	17.5	18.4	19.1	19.3	19.3
Trien	0.1	0.1			0.1	2.6	5.4	8.4	11.3	13.9	16.1	17.9	19.1	19.4	19.4	19.4	19.4
Den	0.1	0.1				0.5	3.2	5.7	7.8	9.8	12.9	16.5	18.7	19.3	19.3	19.3	19.3
DTPA	0.01	0.1			2.8	5.7	7.8	9.5	11.2	13.2	15.1	16.7	17.8	18.4	18.5	18.5	18.5
邻菲咯啉	0.01	0.1	2.1	3.5	5.9	8.8	11.8	13.9	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Tren	0.1	0.1					1.1	4.1	7.1	10.1	13.0	15.6	17.1	17.7	17.8	17.8	17.8
TEA	0.1	0.1					0.1	0.7	1.9	3.7	6.0	8.1	10.1	12.3	15.0	17.9	20.9

续表

金属和配位体[1]	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Cu																	
EGTA	0.01	0.1		0.1	1.8	3.7	5.1	6.5	8.5	10.5	12.5	14.1	14.9	15.0	15.0	15.0	15.0
SSal	0.1	0.1				0.2	1.0	2.0	3.4	5.3	7.3	9.3	11.3	13.1	14.3	14.5	14.5
Cit	0.1	0.5			0.2	0.8	2.9	5.1	6.7	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
NTA	0.1	0.5		0.3	2.6	4.3	5.5	6.5	7.5	8.8	10.5	12.3	13.9	14.1	14.3	15.1	16.1
	0.01	0.1		0.1	2.0	3.7	4.9	5.9	6.8	7.9	9.1	10.6	12.0	12.6	13.4	14.4	15.4
吡啶羧酸	0.1	0.1	2.4	4.4	6.4	8.4	10.4	12.0	12.8	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
NH_3	1	0.1						0.2	1.2	3.6	7.1	10.6	12.2	12.7	12.7	12.7	12.7
	0.1	0.1							0.2	1.2	3.6	6.7	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6
	0.01	0.1								0.2	1.2	3.3	4.5	4.9	4.9	5.1*	5.8*
Acac	0.01	0.1				0.3	1.2	2.8	4.7	6.7	8.5	9.9	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
$P_2O_7^{4-}$	0.1	1					0.1	1.1	2.8	4.3	5.9	6.8	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5	0.5	1.1	3.1	4.9	6.3	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Tart	0.1	1			0.1	1.0	2.5	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3*	3.8*	4.7*	5.7*
Ac^-	0.1	1					0.3	0.9	1.1	1.1	1.1	1.3	1.8	2.7	3.7	4.7	5.7
Fe^{2+}																	
OH^-		1										0.1	0.6	1.5	2.5	3.5	4.5
DTPA	0.01	0.1				1.6	3.7	5.2	6.8	8.7	10.7	12.6	14.3	15.9	17.0	18.0	19.0
CDTA	0.01	0.1			0.5	3.4	6.1	8.2	10.0	11.3	12.4	13.4	14.4	15.3	16.0	16.2	16.2
EDTA	0.1	0.5			0.6	2.6	4.6	6.6	8.3	9.7	10.7	11.7	12.5	12.7	12.8	12.8	12.8
	0.01	0.1			0.1	1.8	3.7	5.7	7.5	8.9	10.0	11.0	11.8	12.2	12.3	12.3	12.3
Cit	0.1	0.5					0.5	2.6	4.2	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
NTA	0.1	0.5				0.7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.6	7.4	7.9	8.8	9.8	10.8
	0.01	0.1				0.3	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.9	6.7	7.3	8.1	9.1	10.1
Tetren	0.1	0.1							1.0	3.9	6.7	9.0	10.0	10.4	10.4	10.4	10.4
吡啶羧酸	0.1	0.1		0.1	0.9	2.7	5.4	7.8	9.0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
Den	0.1	1								0.3	2.3	5.6	7.8	8.4	8.4	8.4	8.4
Tren	0.1	0.1								0.4	3.0	5.6	7.1	7.7	7.8	7.8	7.8
Trien	0.1	0.1								1.3	3.5	5.3	6.5	6.8	6.8	6.8	6.8
Acac	0.01	0.1							0.3	1.1	2.3	3.6	4.0	4.0	4.0	4.1*	4.6*

续表

金属和配位体[1]	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe^{3+}																	
OH^-		3				0.4	1.8	3.7	5.7	7.7	9.7	11.7	13.7	15.7	17.7	19.7	21.7
TEA	0.1	0.1											24.2	28.2	32.2	36.2	40.2
EDTA	0.1	0.5	3.8	7.0	10.3	13.0	15.2	17.2	18.9	20.4	22.0	24.0	26.4	28.5	30.6	32.6	34.6
EDTA	0.01	0.1	3.1	6.2	9.5	12.3	14.5	16.5	18.3	19.8	21.4	23.3	25.7	28.0	30.1	32.1	34.1
Sal	0.1	3		0.9	2.7	5.1	7.3	9.3	11.5	14.1	17.0	20.0	23.0	26.0	29.0	31.4	32.3
CDTA	0.01	0.1	3.2	7.2	11.1	14.5	17.2	19.3	21.1	22.4	23.5	24.7	26.3	28.1	29.8	31.0	32.0
DTPA	0.01	0.1	0.6	2.5	6.5	10.5	13.8	16.2	18.2	20.2	22.2	23.9	25.2	26.5	27.6	28.6	29.6
SSal	0.1	3	0.1	1.2	3.2	5.8	8.0	10.1	12.5	15.4	18.4	21.4	24.4	27.1	28.9	29.2	29.2
NTA	0.1	0.5	0.4	3.2	5.8	8.2	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.1	21.5	21.8	22.4	23.3	24.3
	0.01	0.1	0.1	2.5	5.2	7.1	8.9	10.8	12.8	14.8	16.8	18.6	20.1	20.9	21.8	22.8	23.8
$P_2O_7^{4-}$	0.1	不定	0.4	6.0	10.6	13.8	16.0	18.0	19.4	20.0							
Cit	0.1	0.5		0.3	3.0	6.4	9.5	12.0	13.7	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5	2.5	6.0	9.8	12.5	14.6	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.9*	17.7*	19.7*	21.7*
F^-	0.1	0.5	1.4	3.3	5.7	7.9	8.7	8.9	8.9	8.9	9.8*	11.7*	13.7*	15.7*	17.7*	19.7*	21.7*
Ac^-	0.1	0.1			0.2	1.3	3.5	5.2	6.0*	7.7*	9.7*	11.7*	13.7*	15.7*	17.7*	19.7*	21.7*
SCN^-	0.1	0.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.8*	5.7*	7.7*	9.7*	11.7*	13.7*	15.7*	17.7*	19.7*	21.7*
Hg^{2+}																	
OH^-		0.1				0.5	1.9	3.9	5.9	7.9	9.9	11.9	13.9	15.9	17.9	19.9	21.9
CN^-	0.1	0.1	14.3	16.3	18.3	20.3	22.3	24.3	26.4	29.2	32.8	35.9	37.1	37.5	37.5	37.5	37.5
CDTA	0.01	0.1	1.5	4.5	7.4	9.9	12.3	14.3	16.1	17.4	18.5	19.5	20.7	21.9	23.6	24.8	25.8
I^-	0.1	0.5	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
EDTA	0.1	0.5	2.4	5.4	8.1	10.2	12.1	14.1	15.8	17.2	18.2	19.5	21.0	22.2	23.3	24.3	25.3
	0.01	0.1	1.5	4.5	7.2	9.4	11.2	13.2	15.0	16.4	17.5	18.8	20.3	21.6	22.7	23.7	24.7
DTPA	0.01	0.1	0.4	4.2	7.9	10.9	13.4	15.6	17.7	19.7	21.6	23.2	24.3	24.9	25.0	25.0	25.0
Trien	0.1	0.1	0.6	3.5	6.5	9.4	11.8	14.0	16.3	18.8	21.0	22.8	24.0	24.3	24.3	24.3	24.3
硫　脲	0.1	1	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4	22.4
EGTA	0.01	0.1	1.0	3.9	6.6	8.8	10.8	12.8	14.8	16.8	18.8	20.4	21.1	21.2	21.2	21.2	22.0
Tren	0.1	0.1				2.1	5.1	8.1	11.1	14.1	17.0	19.6	21.2	21.7	21.8	21.8	22.2
Den	0.1	0.1		0.4	3.1	6.1	9.0	11.7	13.6	15.6	17.6	19.4	20.5	20.8	20.8	20.8	21.9*
NH_3	1	0.1		0.9	2.7	4.7	6.7	8.7	10.7	12.7	14.9	17.6	19.1	19.4	19.4	20.0*	21.9*

续表

金属和配位体①	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH														
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Hg^{2+}	0.1	0.1			0.9	2.7	4.7	6.7	8.7	10.7	12.7	14.6	15.7	16.2*	17.9*	19.9*	21.9*
	0.01	0.1				0.9	2.7	4.7	6.7	8.7	10.7	12.5	14.0	15.9*	17.9*	19.9*	21.9*
邻菲咯啉	0.01	0.1	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	14.4	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.9*	17.9*	19.9*	21.9*
SCN^-	0.1	1	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	17.9*	19.9*	21.9*
吡啶羧酸	0.1	0.1	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	12.6	13.4	13.6	13.6	13.6	14.1*	15.9*	17.9*	19.9*	21.9*
In																	
OH^-		3								0.3	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
La																	
OH^-		3											0.3	1.0	1.9	2.9	3.9
NTA	0.1	0.5			0.5	2.3	4.2	6.1	8.1	10.1	12.1	13.9	15.3	15.5	15.5	15.5	15.5
	0.01	0.1			0.2	1.5	2.9	4.6	6.5	8.5	10.5	12.3	13.7	14.1	14.1	14.1	14.1
CDTA	0.01	0.1				1.7	4.2	6.3	8.1	9.4	10.5	11.5	12.5	13.4	14.1	14.3	14.3
EDTA	0.1	0.5			0.8	3.5	5.7	7.7	9.4	10.8	11.8	12.8	13.6	13.8	13.9	13.9	13.9
	0.01	0.1			0.2	2.6	4.8	6.8	8.6	10.0	11.1	12.0	12.9	13.3	13.4	13.4	13.4
Acac	0.01	0.1							0.2	1.0	2.5	4.3	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Mg																	
OH^-		0.1												0.1	0.5	1.3	2.3
CDTA	0.01	0.1						0.4	2.1	3.4	4.5	5.5	6.5	7.4	8.1	8.3	8.3
DTPA	0.01	0.1						0.3	1.0	2.3	4.0	5.6	6.6	7.2	7.3	7.3	7.3
EDTA	0.1	0.5						0.7	2.4	3.8	4.9	5.8	6.7	7.1	7.2	7.2	7.2
	0.01	0.1						0.4	1.9	3.3	4.4	5.3	6.2	6.6	6.7	6.7	6.7
甘氨酸	0.1	0.1								0.1	1.0	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	4.1
NTA	0.1	0.5						0.1	0.4	1.2	2.2	3.1	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0
	0.01	0.1							0.1	0.7	1.6	2.5	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4
Cit	0.1	0.5					0.2	0.9	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9*	2.4*
Tart	0.1	0.5				0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7*	1.3*	2.3*
Mn^{2+}																	
OH		0.1											0.1	0.5	1.4	2.4	3.4
EDTA	0.1	0.5			0.5	2.4	4.3	6.3	8.0	9.4	10.4	11.4	12.2	12.4	12.4	12.4	12.4
	0.01	0.1			0.1	1.6	3.5	5.4	7.2	8.6	9.7	10.6	11.5	11.9	12.0	12.0	12.0

续表

金属和配位体[1]	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mn^{2+}																	
Tetren	0.1	0.1								1.0	3.6	5.6	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6
NTA	0.1	0.5				0.1	0.5	1.3	2.3	3.3	4.3	5.2	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0
	0.01	0.1					0.2	0.7	1.6	2.6	3.6	4.5	5.2	5.4	5.4	5.4	5.4
Tren	0.1	0.1									0.3	2.5	4.1	4.7	4.8	4.8	4.8
Acac	0.1	0.1							0.3	1.3	2.9	4.2	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
En	0.1	0.1									0.1	1.0	2.2	2.8	3.1	3.2*	3.5*
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5				0.2	0.6	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.6*	3.4*
Cit	0.1	0.5					0.1	0.7	1.5	2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.7*	3.4*
Ni																	
OH		0.1										0.1	0.7	1.6			
CN^-	0.1	0.1				2.5	6.5	10.5	14.5	18.5	22.5	25.7	26.9	27.3	27.3	27.3	27.3
邻菲咯啉	0.01	0.1	3.4	6.3	9.3	12.3	15.3	17.4	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
DTPA	0.01	0.1		0.1	2.9	5.8	7.9	9.4	10.7	12.7	14.6	16.2	17.3	17.9	18.0	18.0	18.0
Trien	0.1	0.1					0.3	2.3	4.9	7.5	10.8	14.2	16.6	17.4	17.4	17.4	17.4
EDTA	0.1	0.5	0.1	2.4	5.1	7.1	9.0	10.9	12.6	14.0	15.0	16.0	16.8	17.0	17.1	17.1	17.1
	0.01	0.1		1.5	4.2	6.3	8.1	10.0	11.8	13.2	14.3	15.3	16.1	16.5	16.6	16.6	16.6
Den	0.1	0.1						0.5	2.8	6.5	10.5	14.1	16.3	16.9	16.9	16.9	16.9
Tetren	0.1	0.1					0.3	3.8	7.1	10.1	12.9	15.2	16.2	16.6	16.6	16.6	16.6
吡啶羧酸	0.1	0.1	0.6	2.2	4.5	7.3	10.3	12.7	13.9	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2	14.2
Tren	0.1	0.1						0.4	3.1	6.0	9.0	11.6	13.1	13.7	13.8	13.8	13.8
NTA	0.1	0.5			1.4	3.1	4.2	5.2	6.5	8.2	10.2	12.0	13.4	13.6	13.6	13.6	13.6
	0.01	0.1			0.7	2.4	3.5	4.5	5.5	6.7	8.3	10.0	11.4	11.8	11.8	11.8	11.8
Cit	0.1	0.5			0.2	0.5	1.7	2.9	3.6	4.4	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3
EGTA	0.01	0.1				0.5	1.5	2.5	3.8	5.5	7.5	9.1	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0
TEA	0.1	0.1							0.3	0.9	1.6	2.2	3.0	4.0	5.1	6.7	9.0
Acac	0.1	0.1					0.2	0.9	2.3	4.3	6.4	8.4	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
NH_3	1	0.1							0.1	0.6	2.8	6.3	8.3	8.8	8.8	8.8	8.8
	0.1	0.1								0.1	0.6	2.5	3.8	4.5	4.5	4.5	4.5
	0.01	0.1									0.1	0.5	1.3	1.8			
SSal	0.1	0.1							0.2	0.8	1.8	3.2	5.0	6.8	8.0	8.0	8.0

续表

金属和配位体①	浓度 $c/(mol \cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol \cdot kg^{-1})$	pH 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ni																	
$C_2O_4^{2-}$	0.1	1		0.2	1.6	3.3	4.9	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Ac^-	0.1	1						0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.7	1.6			
Pb																	
OH^-		0.1								0.1	0.5	1.4	2.7	4.7	7.4	10.4	13.4
CDTA	0.01	0.1		0.1	2.6	5.2	7.6	9.7	11.5	12.8	13.9	14.9	15.9	16.8	17.5	17.7	17.7
TEA	0.1	0.1									3.0	4.5	7.0	10.0	13.9	17.5	
DTPA	0.01	0.1			0.8	3.6	5.8	7.6	9.6	11.6	13.5	15.1	16.2	16.8	16.9	16.9	16.9
EDTA	0.1	0.5		1.4	4.2	6.3	8.2	10.2	12.0	12.4	14.4	15.4	16.2	16.4	16.5	16.5	16.5
	0.01	0.1		0.6	3.3	5.5	7.4	9.4	11.2	12.6	13.7	14.7	15.5	15.9	16.0	16.0	16.0
EGTA	0.01	0.1				0.5	1.8	3.0	4.6	6.5	8.5	10.1	10.9	11.0	11.0	11.1*	13.4*
NTA	0.1	0.5		0.1	1.9	3.6	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.3	10.4	10.4	10.7*	13.4*
	0.01	0.1			1.1	3.9	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.9	9.6	9.8	9.8	10.5*	13.4*
Cit	0.1	0.5			1.0	2.6	3.7	4.2	4.2	4.2	4.2	4.5	5.3	6.3	7.7*	10.4*	13.4*
吡啶羧酸	0.1	0.1			0.5	1.6	3.3	4.9	5.7	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	7.4*	10.4*	13.4*
Tart	0.1	0.5			0.2	1.4	2.4	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3.0	4.7*	7.4*	10.4*	13.4*
Ac^-	0.1	0.5				0.1	0.6	1.2	1.5	1.5	1.5	1.8*	2.7*	4.7*	7.4*	10.4*	13.4*
Sc																	
OH^-		1					0.1	0.6	2.2	4.2	6.2	8.2	10.2	12.2	14.2	16.2	18.2
Sr																	
OH^-		0.1														0.1	0.6
DTPA	0.01	0.1							0.6	2.4	4.3	5.9	7.0	7.6	7.7	7.7	7.7
EDTA	0.1	0.5					0.1	1.0	2.6	4.0	5.0	6.0	6.8	7.0	7.1	7.1	7.1
	0.01	0.1						0.3	1.8	3.2	4.3	5.2	6.1	6.5	6.6	6.6	6.6
EGTA	0.01	0.1							0.4	2.1	4.1	5.7	6.4	6.5	6.5	6.5	6.5
NTA	0.1	0.5							0.3	1.0	1.9	2.8	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6
	0.01	0.1							0.1	0.4	1.2	2.1	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0
Cit	0.1	0.5					0.1	0.9	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Tart	0.1	0.5					0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6*
Th																	
OH		1					0.2	0.8	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7

续表

金属和配位体[①]	浓度 $c/(mol\cdot L^{-1})$	离子强度 $I/(mol\cdot kg^{-1})$	pH														
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Th																	
EDTA	0.1	0.5	0.5	4.3	8.0	10.8	13.0	15.0	16.7	18.5	20.2	22.2	24.0	25.2	26.3	27.3	28.3
	0.01	0.1	0.2	3.8	7.5	10.4	12.6	14.6	16.4	18.1	19.9	21.8	23.7	25.1	26.2	27.2	28.2
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5	0.1	6.5	12.1	15.7	18.5	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
Acaç	0.01	0.1			0.1	0.7	1.9	3.7	6.2	9.9	13.5	16.3	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
F^-	0.1	0.5	6.0	8.9	11.7	14.1	14.9	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Zn																	
OH^-		0.1										0.2	2.4	5.4	8.5	11.8	15.5
CDTA	0.01	0.1			1.6	4.2	6.6	8.7	10.5	11.8	12.9	13.9	14.9	15.8	16.5	16.7	16.7
DTPA	0.01	0.1			1.0	3.8	5.9	7.4	8.9	10.7	12.6	14.2	15.3	15.9	16.0	16.0	16.1*
EDTA	0.1	0.5		0.3	2.8	4.9	6.8	8.8	10.5	11.9	12.9	13.9	14.7	14.9	15.0	15.0	15.6*
	0.01	0.1		0.1	1.9	4.0	6.0	7.9	9.7	11.1	12.2	13.2	14.0	14.4	14.5	14.5	15.5*
Tetren	0.1	0.1						1.6	4.9	7.9	10.7	13.0	14.0	14.4	14.4	14.4	15.5*
Tren	0.1	0.1						0.3	3.0	6.0	8.9	11.5	13.0	13.6	13.7	13.7	15.5*
CN^-	0.1	0.1							0.1	3.5	7.5	10.7	12.3	12.7	12.7	12.8*	15.5*
Den	0.1	0.1							0.8	2.8	6.1	9.7	11.9	12.5	12.5	12.6*	15.5*
Trien	0.1	0.1						0.6	3.1	5.6	7.8	9.6	10.8	11.1	11.1	11.9*	15.5*
EGTA	0.01	0.1					0.5	2.4	4.4	6.4	8.4	10.0	10.7	10.8	10.8	11.9*	15.5*
NTA	0.1	0.5			0.7	2.3	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.3	9.0	9.1	9.2	11.8*	15.5*
	0.01	0.1			0.2	1.6	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.6	8.3	8.5	8.8*	11.8*	15.5*
吡啶羧酸	0.1	0.1		0.3	1.3	3.3	6.0	8.4	9.6	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	11.8*	15.5*
Cit	0.1	0.5				0.3	1.4	2.6	3.2	3.5	3.8	4.4	5.4	6.4	8.5*	11.8*	15.5*
NH_3	1	0.1								0.4	3.6	7.1*	8.7	9.1	9.2*	11.8*	15.5*
	0.1	0.1									0.4	3.2	4.7	5.6	8.5*	11.8*	15.5*
Acac	0.01	0.1							0.2	1.1	2.5	3.8	4.2	5.4	8.5*	11.8*	15.5*
En	0.01	0.1							0.2	0.8	2.3	4.2	5.7	6.3	8.5*	11.8*	15.5*
$C_2O_4^{2-}$	0.1	0.5	0.1	0.6	1.2	2.1	3.4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.4*	8.5*	11.8*	15.5*
Tart	0.1	0.5			0.2	1.4	2.4	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8*	5.4*	8.5*	11.8*	15.5*
Ac^-	0.1	0.1					0.1	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7*	2.4*	5.4*	8.5*	11.8*	15.5*

① 表中配位体符号：Acac——乙酰丙酮； En——乙二胺； Tart——酒石酸； Cit——柠檬酸； Ac^-——乙酸； EDTA——乙二胺四乙酸； CDTA——1，2-环己二胺四乙酸； DTPA——二乙三胺五乙酸； EGTA——乙二醇双（2-氨基乙醚）四乙酸； NTA——氨三乙酸； Den——二乙三胺； Trien——三乙四胺； Tetren——四乙五胺； Tren——三氨基三乙胺； TEA——三乙醇胺； Sal——水杨酸； SSal——磺基水杨酸； 配位体上的电荷略去（除用分子式表示的外）。
数值中上角带“*”者说明在这个 pH 范围，$\alpha_{M(OH)}$超过了$\alpha_{M(L)}$。

主要参考文献

1. 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准（GB 3100～3102-93）——量和单位. 北京：中国标准出版社，1994.
2. Nat. Bnr. Stand: Tech. News Bull. 1971.
3. National Bureav of Standard（U. S. A.），Policy for NBS Usage of SI Units. J. Chem. Educ. 1971，48：569
4. 李慎安编. 常用计量单位词典. 北京：计量出版社，1984.
5. 孙丕均译，张炎长，杨政编. 实验室法定计量单位实用手册. 北京：中国标准出版社，1992.
6. 张铁垣编著. 分析化学中的量和单位. 北京：中国标准出版社，1995.
7. Pure Appl. Chem. 1992；64（10）：1519～1534.
8. Václav Šedivec，Jan Flek. 有机溶剂分析手册（吴贤澂，李世琪，牛荣珍译）. 北京：化学工业出版社，1984.
9. L Haar，J S Gallagher，G S Kell. NBSINRC Steam Tables. New York：Hemisphere Publishing Crop.，1984.

第二章　分析化学基础知识

第一节　分析用纯水的制备及检定

在一般分析工作中用（一次）蒸馏水或去离子水。在超纯分析中用水，还需采用蒸馏、反渗透或去离子后再行蒸馏等方法制备的水。

一、　分析用纯水的制备

（一）蒸馏法

普通分析，用工业提供的一次蒸馏水即可。

实验室中制取蒸馏水多用内阻加热蒸馏设备或硬质玻璃蒸馏器。制取高纯水，则需用银质、金质、石英或聚四氟乙烯蒸馏器。近年来出现的一种新型石英亚沸蒸馏器（图 2-1）特别适合于制备高纯水。其特点是在液面上方加热，使液面始终处于亚沸状态，可将水蒸气带出的杂质减至最低。该装置还适用于制备高纯酸（如 HCl、HNO_3 等）和氨水。

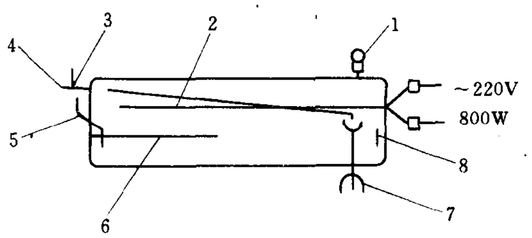


图 2-1　亚沸蒸馏器

1—清洗口；2—电炉丝；3、4—冷却水进出口；5—加液口；6—温度计夹套；7—馏出液接口；8—溢流口

制备蒸馏水时，最初蒸馏出的约 200ml 水弃去，蒸至剩下 1/4 原体积的水时停止蒸馏，只收集中间的馏分。蒸馏一次的水为普通蒸馏水，用来洗涤一般的玻璃仪器和配制普通实验溶液。蒸馏二次或三次的称为二次或三次蒸馏水，用于要求较高的实验。但是，实践表明，太多次地重复蒸馏无助于水质的进一步提高。这是因为水质会受到低沸点杂质、空气中的 CO_2、器皿的溶解性等诸多因素的影响。

事实上，绝对纯的水是不存在的。水的价格也随水质的提高成倍地增长。不应盲目地追求水的纯度。在实验工作中，往往根据实际工作的需要，制备一些特殊要求的纯水。例如在进行二次蒸馏时，加入适当的试剂可抑制某些杂质的挥发。加入甘露醇可抑制硼的挥发，加入碱性高锰酸钾可破坏有机物和抑制 CO_2 逸出。下面介绍几种特殊要求的纯水的制备方法。

（1）pH≈7 的高纯水　在第一次蒸馏时，加入 NaOH 和 $KMnO_4$，第二次蒸馏加入磷酸（除 NH_3），第三次用石英蒸馏器蒸馏（除去痕量碱金属杂质）。在整个蒸馏过程中，要避免水与大气直接接触。

（2）不含金属离子的纯水　在 1L 蒸馏水中，加 2ml 浓硫酸，然后在硬质玻璃蒸馏器中蒸馏。为消除"暴沸"现象，在蒸馏瓶中放几粒玻璃珠或几根毛细管。这样制得的纯水含有少量硫酸，可用于金属离子的测定。但对于痕量分析，这种水仍不能满足要求，可用亚沸蒸馏水。

（3）不含二氧化碳的纯水　将蒸馏水置于蒸馏瓶中直接加热半小时即可。制得的水要贮在装有碱石灰干燥管的瓶内。这种水适于配制 pH 试液、标准缓冲溶液或标准酸等。

（4）不含有机物的纯水　在普通蒸馏水中加入少量碱性高锰酸钾或奈氏试剂，在硬质玻

璃蒸馏器中蒸馏。电导率（1.0×10^{-4}～0.8×10^{-4}）S·m^{-1}.

（5）不含氯的纯水　将普通蒸馏水在硬质玻璃蒸馏器中先煮沸再蒸馏，收集中间馏分。

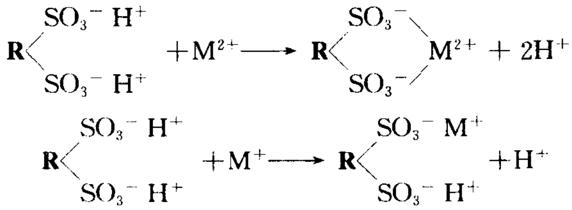
（6）不含氧的纯水　将蒸馏水在平底烧瓶中煮沸12h，随即通过玻璃磨口导管与盛有焦性五棓子酸的碱性溶液吸收瓶连接起来，冷却后使用。

（7）不含酚、亚硝酸和碘的水　在蒸馏水中加入氢氧化钠，使呈碱性，再用硬质玻璃蒸馏器蒸馏。也可用活性炭制备不含酚的水。在1L水中加（10～20）mg活性炭，充分振荡后，用三层定性滤纸过滤两次，除去活性炭。

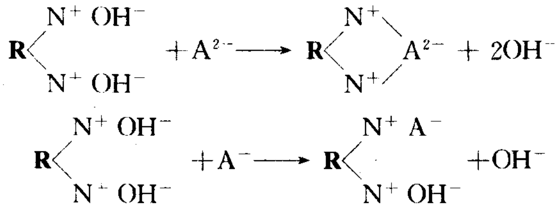
（二）离子交换法

用离子交换法制备的纯水称为去离子水。它是利用阴、阳离子交换树脂上的OH^-和H^+可分别与溶液中其他阴、阳离子交换的能力制备高纯水。其交换反应如下：

通过强酸性阳离子交换树脂时：



通过强碱性阴离子交换树脂时：



两次交换生成的等当量的H^+和OH^-结合成水：

$$H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$$

这样就把水中的杂质离子交换掉，达到纯化水的目的。用这个方法能制取高纯度的水。

采用此法的优点在于制备的水量大、成本低、除去离子的能力强；缺点在于设备及操作较复杂，不能除去非电解质（如有机物）杂质，而且尚有微量树脂溶在水中。目前在实验室，工厂都广泛应用此法。在市场上有小型的"离子交换纯水器"出售，可供实验室使用。现将其方法简介如下。

1. 树脂的选择及装柱

用离子交换法制取纯水，有两种离子交换树脂：一种是阳离子交换树脂，一般采用强酸性阳离子交换树脂，如上海树脂厂的732型；另一种是阴离子交换树脂，一般采用强碱性阴离子交换树脂，如上海树脂厂的717型、711型。树脂的粒度在16－50目均可。

如果市售的阳离子交换树脂是氢型，阴离子交换树脂是氢氧型，那么树脂经反复漂洗，在除去其中水溶性杂质、灰尘、色素等后装入交换柱即可使用。如果分别为钠型和氯型，应加处理转为氢型和氢氧型后才能使用。

处理方法：漂洗。将新树脂放入盆中，用自来水（或普通水）反复漂洗，除去其中的色素、水溶性杂质、灰尘等，直至洗出液不混浊为止。并用蒸馏水浸泡24h。

醇浸泡。当蒸馏水中无明显混悬物时，将水排尽，加入95%乙醇浸没树脂层，搅拌摇匀

浸泡 24h，以除去醇溶性杂质。将乙醇排尽，再用自来水洗至无色、无醇味为止。

酸碱反复处理。阳离子交换树脂，加入 7%盐酸，没过树脂，放置（2～3）h，将盐酸排尽，用水洗至 pH 为（3～4）止。再用 8%氢氧化钠按上法操作，用水洗至 pH 为（9～10）止。再用 7%盐酸浸泡 4h，不时搅拌，浸泡完之后，将盐酸排尽，用蒸馏水反复洗至 pH 约为 4 止。阴离子交换树脂，加入 8%氢氧化钠，操作方法同阳离子交换树脂，洗至 pH 为（9～10）止。再用 7%盐酸，同上法操作，洗至 pH 为 3～4。再用 8%氢氧化钠浸泡 4h，不时搅拌，浸泡完之后，将氢氧化钠排尽，用蒸馏水洗至 pH 约为 8 止。

经过处理的新树脂，就可以装入交换柱内。但交换柱在装入树脂之前，必须用铬酸洗涤液泡 4h，以除去杂质和油污，然后用自来水冲洗，再用去离子水冲洗干净，即可装入树脂。交换柱中先注水半柱，将树脂和水一起倒入柱中。装柱时应注意，柱中水不能漏干，否则树脂间形成空气泡，影响交换量和流速。

树脂用量按体积计算，一般阴离子交换树脂为阳离子交换树脂的 1.5～2 倍。树脂装柱高度相当于柱直径的 4～5 倍为宜。交换柱有几种连结方式。一般的连结方式是：强酸性阳离子交换树脂柱──→强碱性阴离子交换树脂柱──→混合树脂柱。装好后即可生产去离子水。

2. 树脂的再生（转型）

树脂的再生与处理方法基本相同。再生方法有两种：即动态再生和静态再生。它们大体分四个过程：逆洗→再生→洗涤→运行。

逆洗。即水从交换柱底部进入，从上面排出，其目的是将被压紧的树脂层抖松，排除树脂碎粒及其他杂质等，以利于再生。逆洗时间一般约 30min，以洗出水不浑浊、清彻透明为合格。逆洗混合柱的时间要长一些，使阴阳离子交换树脂分开。如果分不开，可将混合树脂倒入 20%的氯化钠溶液中，利用阴、阳离子交换树脂相对密度不同将它们分开。阴离子交换树脂浮在溶液上面，阳离子交换树脂沉在底部。分开以后再按处理阴阳离子交换树脂柱同样过程处理。

再生。对于逆洗后的阳离子交换树脂柱，用 5%～7%的盐酸溶液从柱的顶部注入，缓缓流经阳离子交换树脂（流速约 50～60ml·min^{-1}），直到检查流出液中酸的浓度与加进去的酸的浓度差不多时为止（约 1h）。

对于逆洗后的阴离子交换树脂柱，用 6%～8%的氢氧化钠溶液，从柱的顶部注入，缓缓流经阴离子交换树脂（流速约 50～60ml·min^{-1}），直到检查流出液中碱的浓度与加进去的碱的浓度差不多时为止（约 1.5h）。

洗涤。交换柱经再生之后，须将柱中多余的再生剂淋洗干净。阳离子交换柱的淋洗用去离子 水。开始时的流速同再生流速，待柱中大部分酸被替换出后，流速可加快至（80～100）ml·min^{-1}。淋洗终点可用 pH 试纸检查，洗至 pH=3～4 为终点（或用水质纯度仪，测得比较恒定的比电阻为终点）。也可用其他方法控制终点。

阴离子交换柱用去离子水（或用通过阳离子交换树脂的水）淋洗，待柱中大部分碱液被替换出后，洗速可加速至（80～100）ml·min^{-1}。淋洗终点可用 pH 试纸检查，洗至 pH=8～9 为止，或用酚酞指示液显微红色为止。也可用水质纯度仪，当测得比较恒定的比电阻时即为终点。

运行生产去离子水：淋洗好的交换柱按阳离子交换柱→阳离子交换柱→混合交换柱串联起来，接通水源，水从每个交换柱的顶部注入，进行生产去离子水。

如果是用小型柱制备去离子水，可参照上述步骤以静态再生，然后装柱再按动态步骤淋

洗到合格的去离子水为止。

3. 注意事项

（1）离子交换树脂一般可反复再生使用数年仍有效，但在使用时树脂的温度不得超过50℃，也不宜长时间与高浓度的强氧化剂接触，否则会加速树脂的破坏，缩短离子交换树脂使用时间。

（2）在处理离子交换树脂时，每一步骤都必须严格按照所规定的条件进行，特别要注意控制其流速及各个步骤的pH值，流速不能太快。常用pH纸误差较大，在受潮后更不准确。因此要用干燥的pH纸检查。也可用酸度计进行复查。

（3）树脂长期使用后部分受到污染或中毒等情况，可用20%氯化钠溶液浸泡12h，并按新树脂处理步骤：醇浸泡、酸碱反复处理（1～2）次，然后转型即可消除污染等情况。如果树脂中含有铁、钙会使出水长期不合格，为此，在用酸处理到用0.1mol·L^{-1}硫氰酸铵检查铁不显红色及无钙反应为止（钙盐检查按水质检定（二）4、中钙盐检查方法进行）。

（4）要制备高质量的去离子水，对水源的选择是极为重要的。一般来说，水中无机物杂质含量：盐碱地水＞井水（或泉水）＞自来水＞河水＞塘水＞雨水。有机物杂质含量：塘水＞河水＞井水（或泉水）＞自来水。如果水源浑浊可加0.002%明矾或少许羟基氯化铝使水澄清，最好经砂滤后再进入交换柱。

（三）电渗析法

电渗析法是在离子交换技术的基础上发展起来的一种方法。它是在外电场的作用下，利用阴、阳离子交换膜对溶液中离子的选择性透过而使溶液中的溶质和溶剂分离，从而达到净化水的目的。此方法除去杂质的效率较低，适用于要求不很高的分析工作。

二、水质的检定

（一）物理方法检验

利用电导仪或兆欧表测定水的电阻率是最简便而又实用的方法。水的电阻率越高，表示水中的离子越少，水的纯度越高。通常离子交换水的电阻率ρ应在0.5MΩ·cm以上时，即可满足日常化学分析的要求，否则，树脂需再生。对于要求较高的分析工作，水的电阻率应更高。表2-1列出了各级水的电阻率ρ。

表2-1 各级水的电阻率

水的类型	电阻率 ρ/Ω·cm（25℃）	水的类型	电阻率 ρ/Ω·cm（25℃）
自来水	1900	复床离子交换水	2.5×10^5
一次蒸馏水（玻璃）	3.5×10^5	混床离子交换水	12.5×10^6
三次蒸馏水（石英）	1.5×10^6	碳吸附剂，混床交换树脂和膜滤器制水	15×10^6～18×10^6
28次蒸馏水（石英）	16×10^6	绝对水（理论上最大电阻率）	18.3×10^6

（二）化学方法检验

1. pH值　取两只试管，各加入水样10ml，甲试管加0.2%甲基红（变色范围pH4.4～6.2）溶液2滴，不得显红色，于乙试管中滴加0.2%溴百里酚蓝（变色范围pH6.0～7.6）溶液5滴，不得显蓝色。

2. 硅酸盐的检验　取30ml水样于一小烧杯中，加1∶3硝酸5ml和5%钼酸铵溶液5ml，室温下放置5min（或水浴上放置30s），加入10%亚硫酸钠溶液5ml，摇匀，目视有否蓝色，如有蓝色，则为不合格。

3. 氯离子的检验　取水样 30ml 于试管中，用 5%硝酸 5 滴酸化，加 1%硝酸银溶液（5～6）滴，目视有无白色乳状物，如有白色乳状物，则不合格。

4. 钙离子的检查　取水样 30ml 于小烧杯中，加 5%氢氧化钾溶液 5ml，加入少许酸性铬蓝 K 混合指示剂，如溶液呈红色，说明水样已有钙离子，则不合格。

5. 金属离子的检查　取水样 25ml 于小烧杯中，加 0.2%铬黑 T 指示剂 1 滴，加 pH=10.0 的氨缓冲溶液 5ml，摇匀后如呈现蓝色，说明 Fe^{3+}、Zn^{2+}、Pb^{2+}、Ca^{2+}、Mg^{2+}等阳离子含量甚微，水质合格。如呈现紫红色，则说明水不合格。

6. 二氧化碳的检查　取水样 30ml 于玻璃塞磨口的三角烧瓶中，加氢氧化钙试液 25ml，塞紧，摇匀后静置 1h，不得有浑浊。

7. 易氧化物的检验　取水样 100ml 于烧杯中，加稀硫酸 10ml，煮沸后，加 0.02mol·L^{-1} 高锰酸钾溶液 2 滴，煮 10min，溶液仍呈粉红色为合格，若无色则不合格。

8. 不挥发物的检查　取水样 100ml，在水浴上蒸干，并在烘箱中于 105℃干燥 1h，所留残渣不超过 0.1mg 为合格。

第二节　器皿的洗涤

一、分析器皿的洗涤

应用于分析工作的器皿在进行分析工作前必须将所需器皿仔细洗净，洗净的器皿，它的内壁应能被水均匀地润湿而无水的条纹，且不挂水珠。

一般玻璃器皿，如烧杯、锥形瓶、量杯等的洗涤可用刷子蘸去污粉或合成洗涤剂来刷洗，再用自来水冲净，若仍有油污可用铬酸洗涤液来浸泡，使用时，先将要洗涤器皿内的水液倒尽，再将铬酸洗涤液倒入欲洗涤的器皿中浸数分钟至数十分钟，如将洗涤液预先温热则收效更大。洗涤液对那些不易用刷子刷到的器皿进行洗涤更为方便。

滴定管如无明显油污的，可直接用自来水冲洗，再用滴定管刷刷洗。若有油污则可倒入铬酸洗液，把滴定管横过来，两手平端滴定管转动直至洗液布满全管。碱式滴定管则应先将橡皮管卸下，把橡皮滴头套在滴定管底部，然后再倒入洗液，进行洗涤。污染严重的滴定管可直接倒入铬酸洗涤液浸泡数小时后再用水冲洗。

容量瓶。用水冲洗后，如还不干净，可倒入洗涤液摇动或浸泡，再用水冲洗干净。但不得使用瓶刷刷洗。

移液管。吸取洗涤液进行洗涤，若污染严重则可放在高型玻璃筒或大量筒内用洗涤液浸泡，再用水冲洗干净，或用洗耳球吸取四分之一管洗涤液，再把管横过来，让洗液布满全管，再用水冲干净。

上述仪器洗好后，将用过的洗涤液仍倒入原瓶贮存备用。器皿用自来水冲洗干净，最后用蒸馏水或去离子水润洗内壁 2—3 次。

二、常用洗涤液

1. 铬酸洗涤液　在台天平上称取研细的重铬酸钾（又称红矾钾）5g 置于 250ml 烧杯内，加水 10ml，加热使它溶解，冷却后，再慢慢加入 80ml 粗浓硫酸（工业纯，应注意切不可将水加入浓硫酸中!），边加边搅拌。配好的洗液应为深褐色。待溶液冷却后，储于磨口塞小口瓶中密塞备用。器皿用铬酸洗液时应特别小心。因铬酸洗液为强氧化剂，腐蚀性强，易烫伤皮

肤、烧坏衣服；铬有毒，使用时应注意安全，绝对不能用口吸，只能用洗耳球。具体操作如下：

（1）使用洗液前，必须先将器皿用自来水和毛刷洗刷，倾尽器皿内水，以免洗液被水稀释后降低洗液的效率。

（2）用过的洗液不能随意乱倒，只要洗液未变为绿色，应倒回原瓶，以备下次再用。若洗液变为绿色，表明洗液已失去去污力，要倒入废液缸内，另行处理，绝不能乱倒入下水道。

（3）用洗液洗涤后的仪器，应先用自来水冲净，再用蒸馏水或去离子水润洗内壁（2～3）次。

2. 氢氧化钠的高锰酸钾洗涤液　在台天平上称取高锰酸钾 4g 溶于少量水中，向该溶液中慢慢加入 100ml 10%的氢氧化钠，混匀后储于带有橡皮塞的玻璃瓶中备用。该洗液用于洗涤油污及有机物沾污的器皿。洗后在器皿上如留有二氧化锰沉淀可用浓硫酸或亚硫酸钠溶液把它洗掉。

3. 肥皂液及碱液洗涤液　当器皿被油脂弄脏时用浓的碱液（30%～40%）处理或用热肥皂液洗涤，再用热水和蒸馏水洗清洁。合成洗涤剂适合于洗涤被油脂或某些有机物沾污的器皿。将市售合成洗涤剂（又称洗衣粉）用热水配成浓溶液，洗时放入少量溶液，加热效果更好，振荡后倒掉，再用水和蒸馏水洗清洁。如果洗涤剂没有冲净，装水后弯月面变平。洗滴定管、容量瓶等后，用水要冲洗到弯月面正常为止。

4. 硝酸的乙醇洗涤液　此洗液适用于洗涤油脂或有机物质沾污的酸式滴定管。使用时先在滴定管中加入 3ml 乙醇，再沿壁加入 4ml 浓硝酸，用小表面皿盖住滴定管。让溶液在管中保留一段时间，即可除去污垢。

5. 盐酸的乙醇洗涤液　用 1 份盐酸加 2 份乙醇混合配成洗涤液，此洗液适合于洗涤有颜色的有机物质的比色皿。

6. 硫酸亚铁的酸性溶液或草酸及盐酸洗涤液　这些溶液是用于清洗高锰酸钾留在器皿上的二氧化锰用的。大多数不溶于水的无机物质都可以用少量粗盐酸洗去。灼烧过沉淀的瓷坩埚，可用热盐酸（1+1）洗涤，然后再用铬酸洗液洗涤。

7. 硝酸洗涤液　在铝和搪瓷器皿中的沉垢，用 5%～10%硝酸除去，酸宜分批加入，每一次都要在气体停止析出后加入。

器皿清洗后用水冲洗，再用蒸馏水或去离子水冲洗，使水沿着器皿的壁完全流掉。如果器皿已洗清洁，壁上便留有均匀的一薄层水膜。

第三节　化验室常用器皿和用具

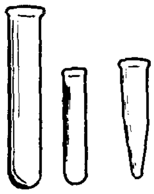
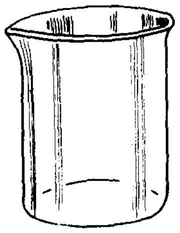
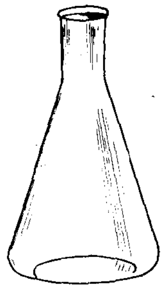
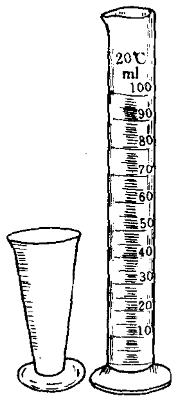
一、常用玻璃器皿和一般用具

玻璃具有良好的化学稳定性，因此，化学实验中大量使用玻璃仪器。根据玻璃的性质分为硬质和软质。软质玻璃的耐热性、硬度、耐腐蚀性较差，但透明度好，一般用于制造非加热仪器，如试剂瓶、漏斗、量筒、吸管等。硬质玻璃的耐热性、耐腐蚀性、耐冲击性都较好，常见的烧杯、烧瓶、试管等。

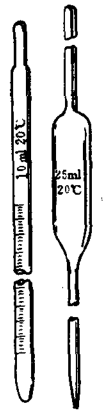
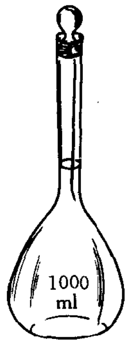
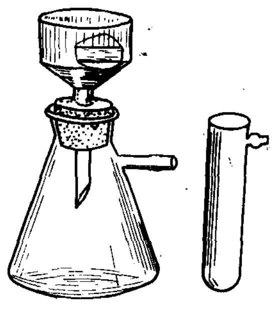
各类器皿和用具有不同的用途，根据形状、容积、直径等又分成各种规格，使用时应视实际情况合理选择。

分析化学中常用器皿和用具的图例及用法，见表 2-2。

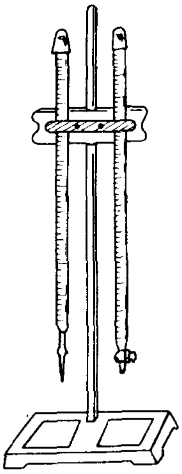
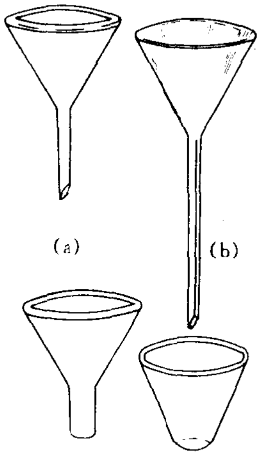
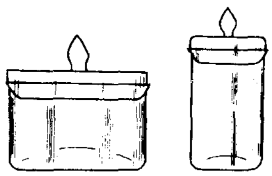
表 2-2　常用玻璃器皿和用具一览表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事
 (a)　(b) 试　管	试管： 有刻度的按容积（ml）分；无刻度用管口直径×管长（mm）表示，如硬质试管 10×75mm 试管分普通试管（a）和离心试管（b）。普通试管又有翻口、平口、有支管、无支管、有塞、无塞等几种	1. 反应容器，便于操作、观察，用药量少 2. 离心管用于少量沉淀分离	1. 反应液体不超过试管容积的 1/2，加热时不超过 1/3 2. 硬质试管可以加热至高温，但不宜骤冷，软质试管在温度急剧变化时极易破裂 3. 一般大试管直接加热，小试管用水浴加热 4. 加热时试管口不要对人，还应注意使试管下半部受热均匀；加热固体时，管口略向下倾斜 5. 离心管不能加热
 烧杯	以容积（ml）表示，如硬质烧杯 400ml。有一般型、高型；有刻度和无刻度等几种	1. 反应容器，尤其在反应物较多时用，易混合均匀 2. 可代替水浴用 3. 配制溶液时用	1. 反应液体不能超过烧杯容量的 2/3 2. 加热时放在石棉网上 3. 可以加热至高温。使用时应注意勿使温度变化过于剧烈
 锥形瓶	以容积（ml）表示，有有塞、无塞；广口、细口和微型几种。有塞子的又称碘量瓶	1. 反应容器，加热时可避免液体大量蒸发 2. 振荡方便，用于滴定操作 3. 碘量瓶用于碘量法滴定	1. 同上 2. 碘量瓶塞子及瓶口边缘的磨砂部分注意勿擦伤，以免产生漏隙。滴定时打开塞子，用蒸馏水将瓶口塞子上的碘液洗入瓶中
 量筒	以所能量度的最大容积（ml）表示，上口大，下口小的叫量杯	量取一定体积的液体	1. 不能作为反应容器，不能加热，不可量热的液体 2. 读数时视线应与液面水平，读取与弯月面最低点相切的刻度

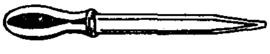
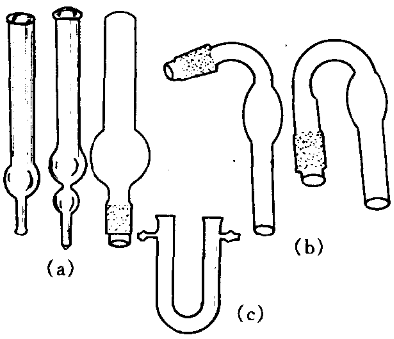
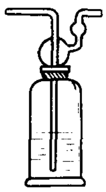
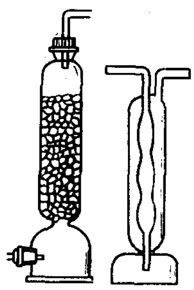
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
(a)　(b) 吸管	以所量的最大容积(ml)表示，分有分度的为吸量管(a)，无分度的为移液管（b）	精确移取一定体积的液体用	1. 吸管用后立即洗净 2. 具有精确刻度的量器，不能放在烘箱中烘干 3. 读取刻度的方法同量筒
容量瓶	以容积（ml）表示，分量入式（ln）和量出式(ex)，塞子有玻璃、塑料两种，颜色有无色、棕色两种	配制标准溶液时用	1. 不能加热，不能代替试剂瓶用来存放溶液 2. 读取刻度的方法同量筒 3. 不能放在烘箱内烘干 4. 棕色容量瓶用于配制见光易分解的药品标准溶液 5. 瓶塞与瓶是配套的，不能互换
布氏漏斗、吸滤瓶	布氏漏斗： 磁制或玻璃制，以直径(cm) 表示 吸滤瓶： 以容积（ml）表示 过滤管： 直径×管长（mm)，磨口的以容积表示	吸滤时用，当沉淀量少时，用小号漏斗与过滤管配合使用	1. 注意漏斗与滤瓶大小的配合 2. 漏斗大小与过滤的沉淀或晶体量的配合 3. 不能直接加热

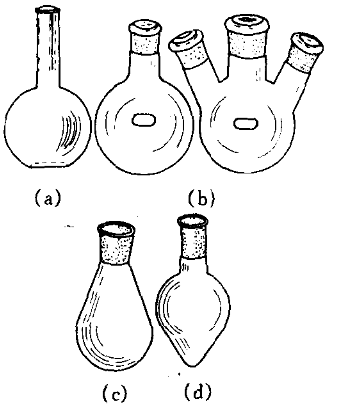
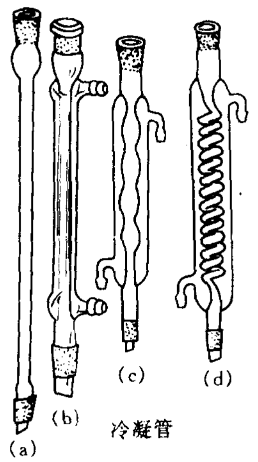
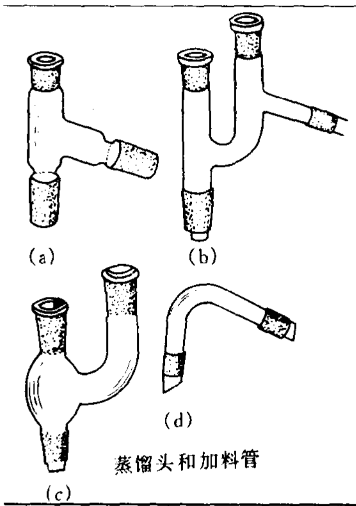
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 滴定管	滴定管分酸式、碱式两种，以容积（ml）表示，颜色分为无色、棕色两种 滴定管架：金属制 滴定管夹：木质或金属	1. 用于滴定或量取准确体积的液体 2. 滴定管夹夹持滴定管，固定在滴定管架上	1. 酸液放在具有玻塞的滴定管中，碱液放在带橡皮管的滴定管中 2. 碱式滴定管不能盛氧化剂 3. 见光易分解的滴定液宜用棕色滴定管 4. 滴定管要洗净，溶液流下时管壁不得挂有水珠。活塞下部要充满液体，全管不得留有气泡 5. 滴定管用后应立即洗净
 (a) (b) (c) (d) 漏斗	以直径（cm）表示，有短颈（a）、长颈（b）、粗颈（c）、无颈（d）等几种	1. 过滤 2. 引导溶液入小口容器中 3. 粗颈漏斗用于转移固体	1. 不能用火直接灼烧 2. 过滤时，漏斗颈尖端必须紧靠盛接滤液的容器壁
 (a) (b) 称量瓶	以外径×高（cm）表示；分扁形（a）、高形（b）	用于准确称量一定量的固体	1. 盖子是磨口配套的，不得丢失、混乱 2. 用前应洗净烘干 3. 不用时应洗净，在磨口处垫一小纸条
 表面皿	以直径（cm）表示	1. 用来盖在蒸发皿、烧杯等容器上，以免溶液溅出或灰尘落入 2. 作为称量试剂的容器	1. 不能用火直接加热 2. 作盖用时，其直径应比被盖容器略大 3. 用于称量时应洗净烘干

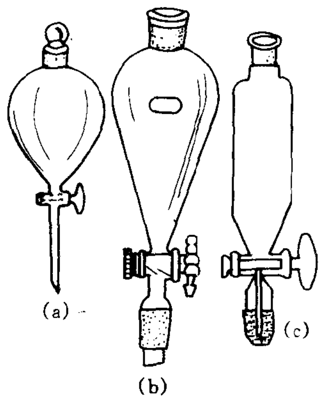
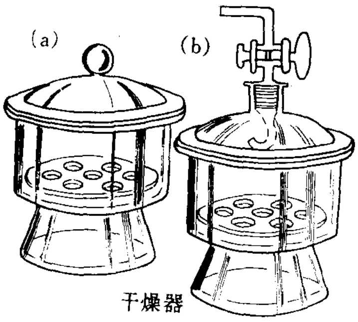
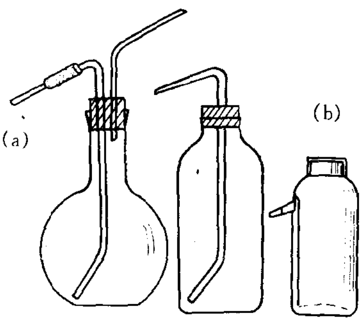
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 滴管	由尖嘴玻璃管和橡皮乳头构成	吸取少量（数滴或1—2ml）试剂	1. 溶液不得吸进橡皮头 2. 用后立即洗净内、外管壁
 干燥管	以大小表示，有直形(a)、弯形(b)、U形(c)几种	盛装干燥剂干燥气体	1. 干燥剂置球形部分，不宜过多。小管与球形交界处放少许棉花填充 2. 大头进气，小头出气
 洗气瓶	以容积表示	净化气体用，反接也可作安全瓶（缓冲瓶）用	1. 接法要正确（进气管通入液体中） 2. 洗涤液注入容器高度的1/3，不得超过1/2
 干燥塔	以容积表示	净化和干燥气体用	1. 塔体上室底部放少许玻璃棉，上面容器放干燥剂（固体） 2. 干燥塔下面进气，上面出气，球形干燥塔内管进气

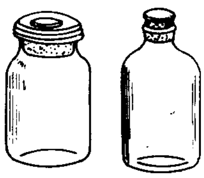
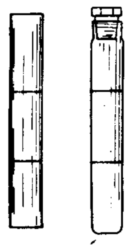
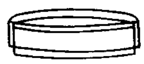
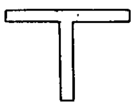
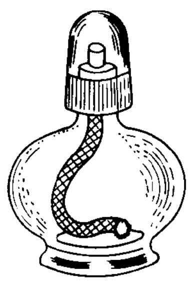
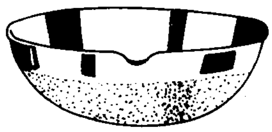
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 烧瓶	以容积（ml）表示。从形状分，有圆形（b）、茄形（c）、梨形（d）；有细口、厚口、磨口；平底（a）、圆底（b）；长颈（a）、短颈（b）等	1. 圆底烧瓶：在常温或加热条件下作反应容器，因圆形受热面积大，耐压大 2. 平底烧瓶：配制溶液或代替圆底烧瓶，还可作洗瓶，它不耐压，不能用于减压蒸馏 3. 三口烧瓶：用于需要搅拌的实验，中间插搅拌器，两边插温度计、加料管或滴液漏斗、冷凝管等	1. 盛放液体的量不能超过烧瓶容量的 2/3，也不能太少 2. 固定在铁架台上，下垫石棉网加热，不能直接加热 3. 放在桌面上时，下面要有木环或石棉环
 冷凝管	以外套管长（cm）表示，分空气（a）、直形（b）、球形（c）、蛇形（d）冷凝管几种	1. 蒸馏操作中作冷凝用 2. 球形冷凝管冷却面积大，适用于加热回流 3. 直形、空气冷凝管用于蒸馏。沸点低于 140℃ 的物质用直形；高于 140℃ 的用空气冷凝管	1. 装配仪器时，先装冷却水橡皮管，再装仪器 2. 套管的下面支管进水，上面支管出水。开冷却水需缓慢，水流不能太大
 蒸馏头和加料管	磨口仪器	1. 蒸馏头（a）用于简单蒸馏，上口装温度计，支管接冷凝管 2. 克氏蒸馏头（b）用于减压蒸馏，特别是易发生泡沫或暴沸的蒸馏。正口安装毛细管，带支管的瓶口插温度计 3. Y 型加料管（c）接在三口瓶上呈四口，可与蒸馏头或蒸馏弯管（d）合用，组成克氏蒸馏头	1. 磨口处需洁净，不得有脏物 2. 注意不要让磨口结死，用后立即洗净

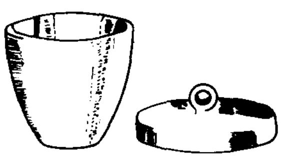
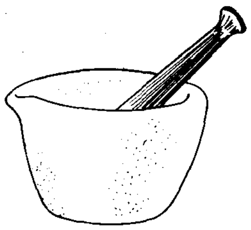
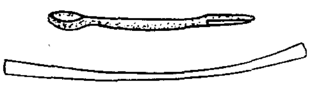
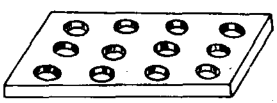
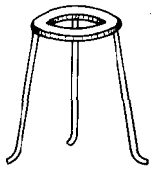
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 分液、滴液漏斗	以容积（ml）、漏斗颈长短表示，有球形（a）、梨形（b）、筒形（c）、锥形几种	1. 用于液体的分离、洗涤和萃取 2. 气体发生器装置中加液用	1. 漏斗间活塞应用细绳系于漏斗颈上，防止滑出跌碎 2. 使用前，将活塞涂一薄层凡士林，插入转动直至透明。如凡士林少了，会造成漏液；太多会溢出沾污仪器和试液 3. 萃取时，振荡初期应放气数次，以免漏斗内气压过大 4. 不能加热
 干燥器	以内径（cm）表示，分普通（a）、真空干燥（b）器两种，颜色分无色、棕色两种	1. 存放物品，以免物品吸收水汽 2. 定量分析时，将灼烧过的坩埚放在其中冷却	1. 灼烧过的物品放入干燥器前，温度不能过高 2. 干燥器内的干燥剂要按时更换 3. 见光易分解的药品宜用棕色干燥器
 洗瓶	以容积（ml）表示，有玻璃（a）、塑料（b）两种	1. 用蒸馏水洗涤沉淀和容器用 2. 塑料洗瓶使用方便、卫生 3. 装适当的洗涤液洗涤沉淀	1. 不能装自来水 2. 塑料洗瓶不能加热
 滴瓶	以容积（ml）表示，分无色、棕色两种	盛放液体试剂	1. 不能加热 2. 棕色瓶盛放见光易分解或不稳定的试剂 3. 碱性试剂要用带橡皮塞的滴瓶盛放 4. 取用试剂时，滴管要保持垂直，不接触接受容器内壁，不能插入其它试剂中

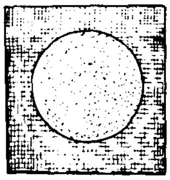
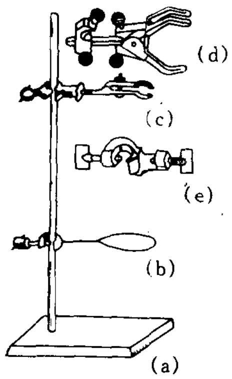
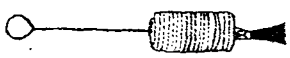
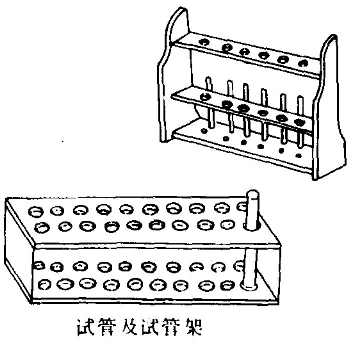
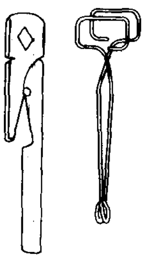
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 试剂瓶	以容积表示，有广口瓶、细口瓶两种，又分磨口、不磨口，无色、棕色等，材料又分玻璃与塑料	1. 广口瓶盛放固体试剂 2. 细口瓶盛放液体试剂和溶液	1. 不能加热 2. 取用试剂时，瓶盖应倒放在桌上，不能弄脏、弄乱 3. 盛放碱性物质要用橡皮塞或塑料瓶 4. 见光易分解的物质宜用棕色瓶 5. 有磨口塞的试剂瓶不用时应洗净，并在磨口处垫上纸条
 比色管	以最大容积表示，有无塞和有塞两种	在目视比色法中，用于比较溶液颜色的深浅	1. 一套比色管应由同一种玻璃制成，且大小、形状、高度应相同 2. 不能用试管刷刷洗，以免划伤内壁 3. 比色管应放在特制的、下面垫有白色瓷板或配有镜子的木架上
 培养皿	以玻璃底盖外径（cm）表示	放置固体样品	1. 固体样品放在培养皿中，可放在干燥器或烘箱中干燥 2. 不能加热
 T形管		1. 连接仪器 2. 导管	
 酒精灯	以容积（ml）表示	加热物质	1. 必须用火柴点燃，绝不能用另一个燃着的酒精灯来点燃 2. 不用时将灯盖罩上，火焰即熄灭，不能用嘴吹 3. 如需添加酒精应熄灭火焰，然后借助于小漏斗添加
 蒸发皿	瓷质，以上口直径（cm）表示。也有石英、铂制品，有平底、圆底两种	1. 反应容器 2. 灼烧固体 3. 因口大底浅，蒸发速度大，作蒸发、浓缩溶液用	1. 耐高温，能直接用火烧 2. 注意不要碰碎，高温时不要用冷水去洗

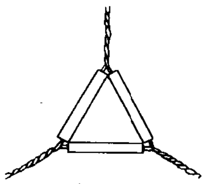
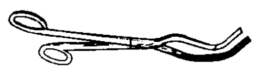
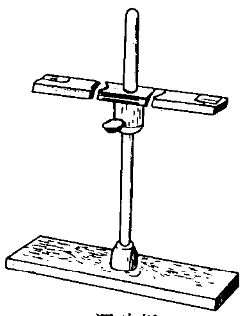
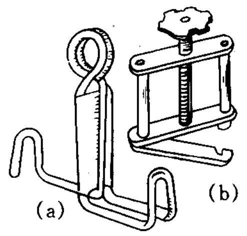
续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 有盖坩埚	瓷质，以容积（ml）表示。也有石墨、石英、氧化锆、铁、镍和铂制的	耐高温，灼烧固体用。根据固体的性质选用不同质的坩埚	1. 灼烧时放在泥三角上，直接用火烧，先小火预热，再大火灼烧 2. 烧热时，不要用手去摸，也不要放在桌上，以免烧坏桌面（应放在石棉网上） 3. 加热时，要用坩埚钳拿取（高温时，坩埚钳需预热） 4. 不要用水冷却灼热的坩埚，以免炸裂
 研钵	瓷质，以钵口直径表示，也有铁、玻璃、玛瑙制的	1. 研磨固体 2. 混合固体物质 3. 根据固体的性质和硬度选用不同质的研钵	1. 不能代替作反应容器用 2. 放入量不能超过容积的 1/3 3. 易爆物质只能轻轻压碎，不能研磨
 药匙	以大小表示，有瓷、骨、塑料制的。不锈钢勺由不锈钢打制而成	取固体试剂	1. 取少量固体时用小的一端 2. 药匙大小的选择，应以拿到试剂后能放进容器口为宜 3. 取用一种药品后，必须洗净擦干才能取另一种药品
 点滴板	上釉瓷板，分白、黑两种	进行点滴反应，观察沉淀生成和颜色变化	
 水浴锅	铜或铝制品	用作水浴加热	1. 选择好圈环，使加热器皿没于锅中 2/3 2. 经常补充水，防止锅内水烧干 3. 使用完毕，将锅内剩余水倒出，并擦干
 三角架	铁制品，有大小、高低之分	放置加热容器	1. 先放石棉网，再放加热容器（水浴锅除外） 2. 不要拿刚加热过的三角架；也不能摔落在地，以免断裂

续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 石棉网	由铁丝编成，中间涂有石棉，有大小之分	加热玻璃反应容器时的承放者，使加热均匀	1. 不要让石棉网浸水，以免铁丝锈坏 2. 爱护石棉心，不要损坏 3. 因石棉致癌，国外已用高温陶瓷代替
 铁架台、铁圈及铁夹	铁架台（a）以高（cm）表示；铁圈（b）以直径（cm）表示；铁夹（c）又称自由夹，以大小表示，有双钳、三钳(d)、四钳之分。铁圈、铁夹也可以由十字夹（e）加圈或夹组成 也有铝制的自由夹	1. 固定反应容器用 2. 铁圈可代替漏斗架使用	1. 不可用铁夹或铁圈敲打其它硬物，以免折断 2. 应先将铁夹等固定在合适的高度，并旋紧螺丝，使之牢固后再进行实验 3. 固定仪器在铁架台上时，仪器和铁架台的中心应落在铁架台底盘的中心处
 试管刷	以大小和用途表示，如试管刷、滴定管刷等	洗仪器及试管用	洗试管时，要把前部的毛捏住放入试管，以免铁丝顶端将试管底戳破
 试管及试管架	有木质、金属和塑料三类	承放试管	金属试管架勿触及酸碱
 试管夹	木质或钢丝	加热试管时代替手夹住试管	1. 不要被火烧坏 2. 夹在试管上部 3. 要从试管底部套上或取下试管夹。不要把拇指按在夹的活动部分

续表

名　　称	规格及表示法	一般用途	使用注意事项
 泥三角	以大小分别	1. 坩埚加热时的承放者 2. 小蒸发皿加热时也可用	1. 灼热的泥三角不要滴上冷水，以免瓷管破裂 2. 选择泥三角时，要使搁在其上的坩埚所露出的上部，不超过本身高度的1/3
 坩埚钳	铁或铜合金，表面常镀铬	加热坩埚时，夹取坩埚或坩埚盖用	用坩埚钳夹取灼热的坩埚时，必须将坩埚钳先预热，以免坩埚因局部冷却而破裂
 漏斗板	木制，有螺丝可固定于铁架或木架上	过滤时承接漏斗用	固定漏斗板时，不要把它反放
 夹子	铁或铜制品，(a)为弹簧夹，(b)为螺旋夹	用于蒸馏水贮瓶或实验装置中沟通或关闭流体的通路，螺旋夹可控制流量	1. 应使胶管夹在弹簧夹的中间部位 2. 在蒸馏水贮瓶装置中，夹子夹持胶管的部位应常变动。应防止夹持不牢引起漏水 3. 实验结束，应及时拆卸装置，擦净夹子，以免锈蚀

二、玻 璃 滤 器

玻璃滤器是利用玻璃粉末烧结制成多孔性滤片，再焊接在相同或相似的膨胀系数的玻壳或玻管上。因此它应包括滤片及与之相熔接而成的玻璃滤器。

（一）滤片规格

按滤片的平均洞孔大小分成 6 个号，用以过滤不同的沉淀物。

滤片编号	滤片平均洞孔，μm	一般用途
1	80～120	滤除粗颗粒沉淀。收集或分布粗分子气体
2	40～80	滤除较粗颗粒沉淀。收集或分布较大分子气体
3	15～40	滤除化学分析中的一般结晶沉淀和杂质。过滤水银。收集或分布一般气体
4	5～15	滤除细颗粒沉淀。收集或分布小分子气体
5	2～5	滤除极细颗粒沉淀。滤除较大细菌
6	<2	滤除细菌

（二）使用注意事项

（1）新的玻璃滤器在使用前应以热盐酸或铬酸洗液先行抽滤，并立即用蒸馏水洗净，除去滤器中灰尘等外来杂质。

（2）玻璃滤器不能过滤浓氢氟酸，热浓磷酸以及热的、冷的浓碱液。这些试剂可溶解滤片的微粒，使滤孔增大，并造成滤片脱裂。

（3）滤片的厚度是兼顾到过滤的速率和必要的机械强度而确定的。因此，在减压或受压的情况下使用时，滤片两面的压力差不允许超过 $1kg\cdot cm^{-2}$。

（4）由于滤器几何形状的特殊和熔接边缘的存在，故升温或冷却时必须十分缓慢。

（5）玻璃滤器每次用毕或使用一定时间后，会因沉淀物堵塞滤孔而影响过滤效率，因此必须及时进行有效的洗涤。洗涤方法如下：

机械冲洗法：将滤器倒置，在沉淀物相反方向用蒸馏水反复冲洗，以洗净沉淀物，烘干即可用。如有必要，还可在冲洗时，采用减压的方法，提高洗涤效率。

化学洗涤法：针对不同的沉淀物，可采用各种有效的洗涤液先行处理，然后再用蒸馏水冲洗干净，再予烘干。常用的洗涤液列于下表。

过滤沉淀物	有效洗涤液
脂肪、脂膏	四氯化碳或适当的有机溶剂
白朊、粘胶、葡萄糖	盐酸、热氨、5%～10%碱液或热硫酸和硝酸的混合液
有机物及碳化物	混有重铬酸盐的温热浓硫酸或含有少量硝酸钾和高氯酸钾的浓硫酸，放置过夜
氯化亚铜、铁斑	混有氯酸钾的热浓盐酸
硫酸钡	100℃浓硫酸
汞渣	热浓硝酸
硫化汞	热王水
氯化银	氨或硫代硫酸钠的溶液
铝质和硅质残渣	先用2%氢氟酸继用浓硫酸洗涤，立即用蒸馏水再用丙酮漂洗。重复漂洗至无酸痕为止
细菌	化学纯浓硫酸5.72ml、化学纯硝酸钠2.00g和蒸馏水94ml充分混合均匀

6号除菌滤器，经细菌过滤后，应立即加入洗涤液抽滤一次，当抽至洗涤液未滤尽前，取下滤器浸入洗涤液中48h，滤片的两面均应接触溶液。取出后用热蒸馏水抽滤洗净、烘干即可。

（6）玻璃滤器不能用以过滤加过活性炭的溶液。

（三）玻璃滤器规格

玻璃滤器可分为：（1）垂熔滤片，垂熔滤片又分毛边（编号：FO）和熔边（编号：FOO），其两者规格完全一样；（2）F1及F2坩埚式滤器（古氏）；（3）F3坩埚式滤器（古氏）；（4）F5漏斗式滤器，高型（蒲氏）；（5）F8漏斗式滤器，高型（蒲氏），具磨砂玻璃盖；（6）F9管式滤器；（7）F15管式滤器；（8）F16、F17和F18管式气体滤器，球形；（9）F31及F32气体分布管；（10）F20、F24、F26、F28和F152漏斗式滤器，低型（蒲氏）；（11）F44、F43、F42和F41管式浸液滤器；（12）F143、F 142筒式滤器；（13）F50称量抽滤器，（由管

式浸液滤器和称量瓶组成）适用于测定青霉素含量等；(14) F101 管式滤器，微量；(15) F102 漏斗式滤器，微量。

上述各种滤器又可分多种规格，分别见下列表 2-3 中各表，其形状如图 2-2 所示。

表 2-3 玻璃滤器

(1) 垂熔滤片

编 号	滤片号	直径 d/mm	厚 度 l/mm	编 号	滤片号	直径 d/mm	厚 度 l/mm
FO-1-010	1	10	1.5～2	FO-3-125	3	125	6～7
FO-1-015	1	15	1.5～2	FO-3-138	3	138	6～7
FO-1-021	1	21	2～2.5	FO-3-210	3	210	7～8.5
FO-1-032	1	32	2～2.5	FO-4-010	4	10	1.5～2
FO-1-065	1	65	4～5	FO-4-015	4	15	1.5～2
FO-1-100	1	100	5～6	FO-4-021	4	21	2～2.5
FO-1-125	1	125	6～7	FO-4-032	4	32	2～2.5
FO-1-138	1	138	6～7	FO-4-065	4	65	4～5
FO-1-210	1	210	7～8.5	FO-4-100	4	100	5～6
FO-2-010	2	10	1.5～2	FO-4-125	4	125	6～7
FO-2-015	2	15	1.5～2	FO-4-138	4	138	6～7
FO-2-021	2	21	2～2.5	FO-5-021	5	21	2～2.5
FO-2-032	2	32	2～2.5	FO-5-032	5	32	2～2.5
FO-2-065	2	65	4～5	FO-5-065	5	65	4～5
FO-2-100	2	100	5～6	FO-5-100	5	100	5～6
FO-2-125	2	125	6～7	FO-5-125	5	125	6～7
FO-2-138	2	138	6～7	FO-5-138	5	138	6～7
FO-2-210	2	210	7～8.5	FO-6-021	6	21	2～2.5
FO-3-010	3	10	1.5～2	FO-6-032	6	32	2～2.5
FO-3-015	3	15	1.5～2	FO-6-065	6	65	4～5
FO-3-021	3	21	2～2.5	FO-6-100	6	100	5～6
FO-3-032	3	32	2～2.5	FO-6-125	6	125	6～7
FO-3-065	3	65	4～5	FO-6-138	6	138	6～7
FO-3-100	3	100	5～6				

(2) F1 及 F2 坩埚式滤器（古氏）

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm
F1-1	8	1	40	21
F1-2	8	2	40	21
F1-3	8	3	40	21
F1-4	8	4	40	21
F1-5	8	5	40	21
F1-6	8	6	40	21
F2-1	10	1	50	21
F2-2	10	2	50	21
F2-3	10	3	50	21
F2-4	10	4	50	21
F2-5	10	5	50	21
F2-6	10	6	50	21

(3) F3 坩埚式滤器（古氏）

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm
F3-1	30	1	60	32
F3-2	30	2	60	32
F3-3	30	3	60	32
F3-4	30	4	60	32
F3-5	30	5	60	32
F3-6	30	6	60	32

(4) F5 漏斗式滤器，高型（蒲氏）

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F5-1	35	1	150	32	9
F5-2	35	2	150	32	9
F5-3	35	3	150	32	9
F5-4	35	4	150	32	9
F5-5	35	5	150	32	9
F5-6	35	6	150	32	9

(5) F8 漏斗式滤器高型（蒲氏）具磨砂玻璃盖

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F8-1	35	1	150	32	9
F8-2	35	2	150	32	9
F8-3	35	3	150	32	9
F8-4	35	4	150	32	9
F8-5	35	5	150	32	9
F8-6	35	6	150	32	9

(6) F9 管式滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F9-1	10	1	100	21	7
F9-2	10	2	100	21	7
F9-3	10	3	100	21	7
F9-4	10	4	100	21	7
F9-5	10	5	100	21	7
F9-6	10	6	100	21	7

(7) F15 管式滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F15-1	25	1	175	21	7
F15-2	25	2	175	21	7
F15-3	25	3	175	21	7
F15-4	25	4	175	21	7
F15-5	25	5	175	21	7
F15-6	25	6	175	21	7

(8) F16、F17 和 F18 管式气体滤器，球形

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F16-1	1	145	15	6
F16-2	2	145	15	6
F16-3	3	145	15	6
F16-4	4	145	15	6
F17-1	1	155	21	6
F17-2	2	155	21	6
F17-3	3	155	21	6
F17-4	4	155	21	6
F18-1	1	170	65	12
F18-2	2	170	65	12
F18-3	3	170	65	12
F18-4	4	170	65	12

(9) F31 及 F32 气体分布管

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F31-1	1	150	21	6
F31-2	2	150	21	6
F31-3	3	150	21	6
F31-4	4	150	21	6
F32-1	1	150	32	6
F32-2	2	150	32	6
F32-3	3	150	32	6
F32-4	4	150	32	6

(10) F20、F24、F26、F28 和 F152 漏斗式滤器，低型（蒲氏）

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	颈外径 ϕ/mm
F20-1	130	1	175	65	12
F20-2	130	2	175	65	12
F20-3	130	3	175	65	12
F20-4	130	4	175	65	12
F20-5	130	5	175	65	12
F20-6	130	6	175	65	12
F24-1	500	1	245	100	20
F24-2	500	2	245	100	20
F24-3	500	3	245	100	20
F24-4	500	4	245	100	20
F24-5	500	5	245	100	20
F24-6	500	6	245	100	20
F26-1	800	1	260	125	21
F26-2	800	2	260	125	21
F26-3	800	3	260	125	21
F26-4	800	4	260	125	21
F26-5	800	5	260	125	21
F26-6	800	6	260	125	21
F28-1	1500	1	320	138	22
F28-2	1500	2	320	138	22
F28-3	1500	3	320	138	22
F28-4	1500	4	320	138	22
F28-5	1500	5	320	138	22
F28-6	1500	6	320	138	22
F152-1	6000	1	500	210	28
F152-2	6000	2	500	210	28
F152-3	6000	3	500	210	28

(11) F44、F43、F42 和 F41 管式浸液滤器

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	预外径 ϕ/mm
F44-1	1	100	10	6
F44-2	2	100	10	6
F44-3	3	100	10	6
F44-4	4	100	10	6
F43-1	1	100	15	6
F43-2	2	100	15	6
F43-3	3	100	15	6
F43-4	4	100	15	6
F42-1	1	180	21	6
F42-2	2	180	21	6
F42-3	3	180	21	6
F42-4	4	180	21	6
F41-1	1	180	32	6
F41-2	2	180	32	6
F41-3	3	180	32	6
F41-4	4	180	32	6

(12) F143、F142 筒式滤器

编号	容量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm
F143-1	200	1	200	21
F143-2	200	2	200	21
F143-3	200	3	200	21
F143-4	200	4	200	21
F142-1	200	1	200	32
F142-2	200	2	200	32
F142-3	200	3	200	32
F142-4	200	4	200	32

(13) F50 称量抽滤器

(a) 管式浸液滤器

编号	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	预外径 ϕ/mm
F50-3	3	70	15	6
F50-4	4	70	15	6

(b) 称量瓶

容量 V/ml (约)	全　高 h/mm	最大外径 ϕ/mm
13	65	33

(14) F101 管式滤器，微量

编号	容　量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	预外径 ϕ/mm
F101-3	2	3	85	10	6
F101-4	2	4	85	10	6

(15) F102 漏斗式滤器，微量

编号	容　量 V/ml	滤片号	全高 h/mm	滤片直径 d/mm	预外径 ϕ/mm
F102-3	0.6	3	65	10	6
F102-4	0.6	4	65	10	6

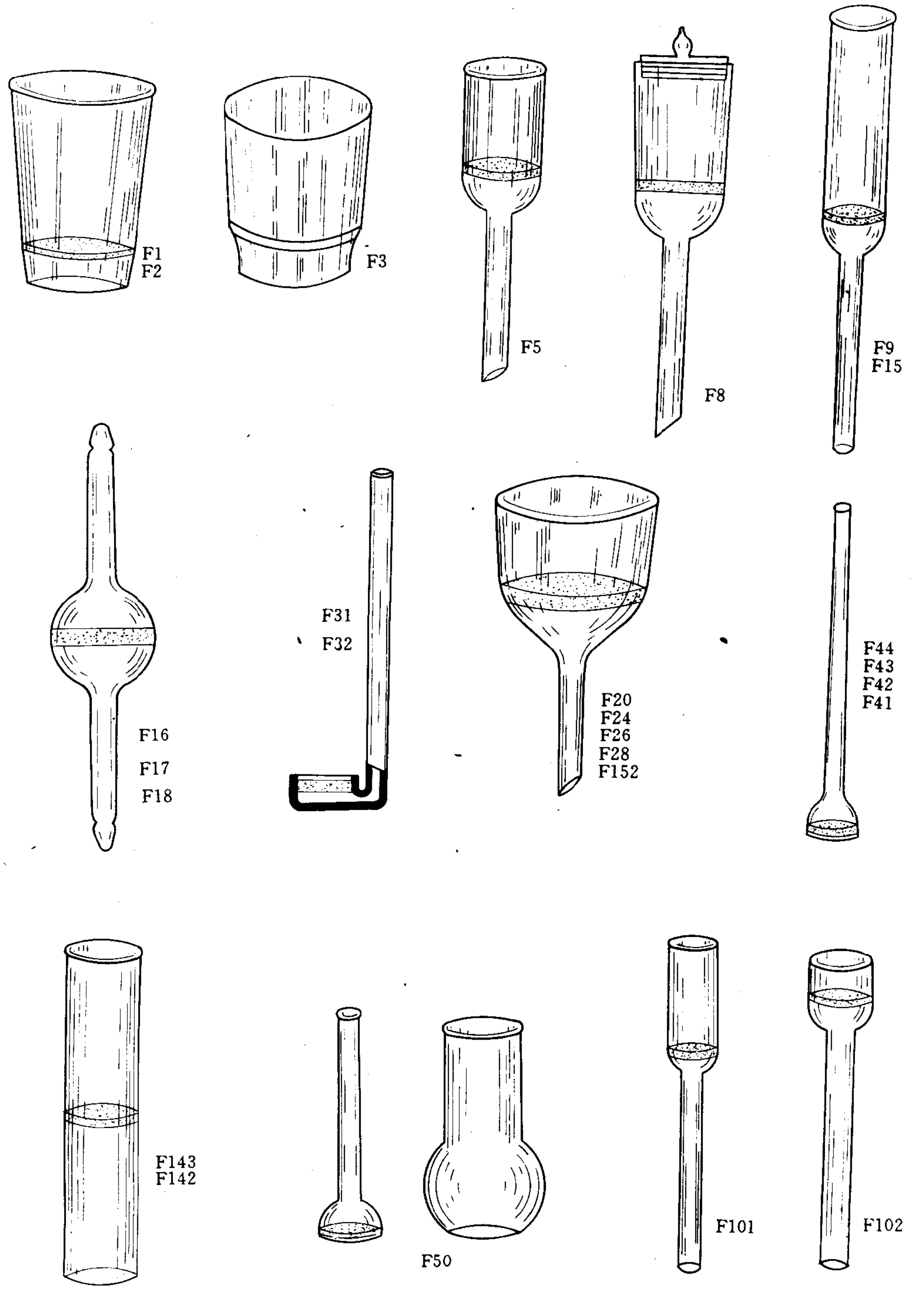

F1
F2
F3
F5
F8
F9
F15
F31
F32
F16
F17
F18
F20
F24
F26
F28
F152
F44
F43
F42
F41
F143
F142
F50
F101
F102

图 2-2　玻璃滤器

第四节　滤纸、滤膜的规格及滤纸浆、石棉浆的制备

一、滤　纸

目前，国产的滤纸有层析定性分析滤纸、定量化学分析滤纸和定性化学分析滤纸。

1. 层析定性分析滤纸　有1号、3号两种，每种又分为快速、中速和慢速三种，其规格见表2-4。

表2-4　1号、3号层析定性分析滤纸的规格

项　目	单　位	1号			3号		
		快　速	中　速	慢　速	快　速	中　速	慢　速
定量①	g·m^{-2}	90	90	90	180	180	180
水抽出物	pH值	7	7	7	7	7	7
水　分	%	7	7	7	7	7	7
灰　分	%	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1
含铁量	10^{-3}g·L^{-1}	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下
水溶性氯化物	10^{-3}g·L^{-1}	100以下	100以下	100以下	100以下	100以下	100以下
铜离子含量	10^{-3}g·L^{-1}	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下	10以下
尘埃度②	个·m^{-2}	≤80	≤80	≤80	≤80	≤80	≤80
吸水性③	mm	60—90	90—120	120—150	60—90	90—120	120—150

① 定量：指规定面积内滤纸的重量，这是造纸工业上用的一个术语。

② 尘埃度：指1m² 面积的滤纸上所含尘埃［（0.1～0.2）mm²］的个数。

③ 吸水性：测定法是取15mm宽的长条滤纸，浸在（20±2）℃的水中1cm，在30min内水上升的高度（以mm计）。

2. 定量化学分析滤纸和定性化学分析滤纸的分类　目前，国产的定量和定性化学分析滤纸，分快速、中速、慢速三类。定量滤纸在滤纸盒上用白带（快速）、蓝带（中速）、红带（慢速）为标志分类，其规格和性能见表2-5。

滤纸外型规格。圆形有：ϕ7cm、ϕ9cm、ϕ11cm、ϕ12.5cm、ϕ15cm、ϕ18cm；方形有：30cm×30cm、60cm×60cm等。

表2-5　定量和定性化学分析滤纸的规格

项　目	单　位	定量滤纸			定性滤纸		
		快　速（白带）	中　速（蓝带）	慢　速（红带）	快　速	中　速	慢　速
定　量	g·m^{-2}	75	75	80	75	75	80
分离性能①		氢氧化铁	硫酸锌	硫酸钡（热）	氢氧化铁	硫酸锌	硫酸钡（热）
过滤速度②	s	10～30	31～60	61～100	10～30	31～60	61～100
紧　度③	g·cm^{-3}，不大于	0.45	0.50	0.55	0.45	0.50	0.55
水　分	%，不大于	7	7	7	7	7	7
灰　分	%，不大于	0.01	0.01	0.01	0.15	0.15	0.15
含铁量	%，不大于	—	—	—	0.003	0.003	0.003
水溶性氯化物	%，不大于	—	—	—	0.02	0.02	0.02
水抽出液，pH值		5～8	5～8	5～8	7	7	7
尘埃度	个·m^{-2}，0.1～0.2mm² 的尘埃不多于	30	30	30	30	30	30
	0.2mm² 以上尘埃	不许有	不许有	不许有	不许有	不许有	不许有

① 在一般条件下能从水溶液中滤出的沉淀。热：指溶液为热的。

② 过滤速度是指：把滤纸折成60度角的圆锥形，将滤纸完全浸湿，取15ml水进行过滤，开始滤出3ml不计时，之后计时，滤出6ml水所需要的时间（单位以秒计算）。

③ 一般系指滤纸松紧的程度，以单位体积内的重量表示。

国外某些定量滤纸的规格和性能见表2-6。

表2-6 国外某些定量滤纸的规格和性能

滤纸牌号	孔度	厚度 l/μm	湿时强度	适用范围
S. S. 589/1（黑带） Whatman 41 东洋 No. 5A	大	220	一般	粗粒结晶及胶状沉淀。如胶状氢氧化物、硅酸、某些硫化物、8-羟基喹啉铝、丁二酮肟镍等
S. S. 589/2（白带） Whatman 40 东洋 No. 5B	中	195	一般	一般皆可用。中等粒度沉淀。如大部分硫化物、粗粒硫酸钡、磷钼酸铵、磷酸铵镁等
S. S. 589/3（蓝带） Whatman 42 东洋 No. 5C	小	165	一般	细粒晶状沉淀或有形成胶态可能的沉淀。如细粒硫酸钡、草酸钙、卤化银、锡酸、氟化钙、高氯酸的碱金属盐等
S. S. 589/4（红带）	极小	160	强	极细粒度沉淀。元素状态沉淀（Bi、Au、S、Se、Te），钴亚硝酸钾、氯铂酸的碱金属盐等

二、滤膜

滤膜是海水分析中重要滤器，也是环境化学分析中的重要工具。通常认为通过0.45μm滤膜滤器的海水样品中的全部组成（包括溶解的和分散的）都为溶解组分。海水分析中的常用滤器规格见表2-7。

表2-7 海水分析中常用滤器的规格

商标名称	材料	孔径 ϕ/μm
Millipore HA	混合纤维素酯类	~0.45
Frotronic Silier	银膜	~0.45
Gelmen A	硼硅玻璃纤维	0.3
Nuclepore	聚碳酸酯核膜	~0.5
Selectron BA85	硝酸纤维	~0.45

三、滤纸浆的制备

在实验室，为了增加过滤效果，加速过滤，往往采用纸浆过滤。因为用纸浆过滤，能使过滤速度加快几倍，并且能适应各种不同性质的沉淀，甚至在过滤胶体溶液时，用纸浆也能得到清澈透明的滤液。当过滤被阻时，只要用玻棒除去纤维的上层，就能很容易整理至原有状态。纸浆的几种制备方法如下：

（1）取滤纸片，放入磨口大玻璃瓶中，加水至瓶容积的三分之二，盖好瓶盖，将其强烈振动，滤纸就很快被打成糊状，制成水悬浮体保存备用。

（2）用浓盐酸处理定量滤纸，时间不超过（2～3）min，然后用水稀释一倍，仔细搅拌，使其成纤维状物，过滤充分洗涤到中性（pH≈7）（如果实验中要求无氯离子时，要洗涤到无氯离子），然后制成水悬浮体保存备用。

（3）将定量滤纸在不断摇动下加热1h，仔细搅拌，把滤纸捣成纤维状物，然后换水。重复进行到水无色为止，使其呈悬浮状态保存备用。

四、石棉浆的制备

（1）取小量石棉和水一起搅拌，使石棉浆不再混有粗的或分散不开的矿物结块。放置片刻，当较粗的石棉纤维下沉而较细的尚未下沉时，把细的纤维和水一起倒进另一个烧杯中，这样可使细纤维与粗纤维分开。在用古氏坩埚过滤时，粗纤维垫在坩埚底部，细纤维则垫在上

面。

（2）将市售分析用长纤维酸洗石棉250g放入100ml比重1.19的盐酸及水100ml、加热微沸8h以上。在装有漏斗式玻璃滤器F_{20-1}的吸滤瓶上用水洗涤至无氯离子（Cl^{-1}），用水制成悬浮体备用。或在（40～50）℃下烘干保存备用。

第五节　玛瑙研钵和坩埚

在分析一个样品时，一般都要进行加热，灼烧或熔融。根据不同性质的样品，须要选用各种合适的器皿。各种器皿的特性不同其使用方法也大不相同，现将几种主要器皿的使用和维护方法简介如下。

（一）玛瑙研钵

玛瑙研钵是用天然的玛瑙制成，玛瑙是一种贵重的矿物，它是石英的变种，主要化学成分是二氧化硅。另外含有少量其他的氧化物（铝、铁、钙、镁、锰等的氧化物），它与很多化学药品不起作用，而且硬度很大，所以被广泛用来研磨各种物质。使用时应注意：

（1）不许与氢氟酸接触；

（2）不许放在热处，例如不许放在烘箱中烤；

（3）遇有大块或结晶体样品，要在外边压碎敲碎，再放入玛瑙研钵进行研磨；

（4）研钵使用后要用水洗净，必要时可先用稀盐酸洗，再用水冲洗干净，如果仍不干净，可放入少许食盐研磨若干时间后倒去再洗净，不得已时可用少许海砂代替食盐以清理；

（5）硬度过大，粒度过粗的物体，最好不要在玛瑙研钵中研磨，以免划坏表面。

（二）铂坩埚

铂坩埚主要用于碱熔融及氢氟酸处理样品。

（1）铂的熔点为1 773.5℃，铂坩埚使用时加热温度最高不可超过1 200℃。加热和灼烧时，应当在电炉内或煤气灯的氧化焰上进行，不可在还原焰或冒黑烟的火焰加热铂坩埚。或使铂器接触火焰中的蓝色焰心。以色生成碳化铂，使它变脆而易破裂。

（2）由于铂较软，所以拿取铂坩埚时勿太用力，以免变形或致凹凸。切勿用玻棒等尖头物体从铂坩埚中刮出物质致使内壁损伤。可以用带橡皮头的玻璃棒。

（3）不得在铂坩埚中加热或熔融碱金属的氧化物，氢氧化物，氧化钡，硫代硫酸钠。含磷以及含大量硫的物质，碱金属的硝酸盐，亚硝酸盐，氯化物，氰化物等在高温下与铂形成脆性磷化铂，硫化铂等，且都能侵蚀铂。

（4）含有重金属，如铅、铋、锡、锑、砷、银、汞、铜等的样品化合物不可在铂坩埚内灼烧和加热，这些重金属化合物容易还原成金属与铂生成合金损坏铂坩埚。

（5）高温加热时，不可与其他任何金属接触，必须放在铂三角或陶瓷、粘土、石英等材料的支持物上灼烧也可放在垫有石棉板的电炉或电热板上加热，但不得直接与铁板或电炉丝接触，因为在高温时铂易与其他金属形成合金。须用铂头坩埚钳，镍或不锈钢的钳子只能在低温时使用。

（6）在铂坩埚内不得处理卤素及能分解出卤素的物质，如王水、溴水及盐酸与氧化剂（氯酸盐、硝酸盐、高锰酸盐、二氧化锰、铬酸盐、亚硝酸盐等）的混合物以及卤化物和氧化剂的混合物。三氯化铁溶液对铂有显著的侵蚀作用，因此不能与三氯化铁接触。

（7）成分不明的物质不要在铂坩埚中加热或溶解。

（8）铂坩埚必须保持清洁，内外应光亮，经过长久灼烧之后，铂坩埚外表可能黯然无光，

这是由于表面有一薄层结晶的关系，日久必定深入到内部以致铂坩埚脆弱而破裂。因此必须及时清除表面不清洁之物，其方法有：

在稀盐酸或稀硝酸内煮沸（用稀盐酸比较方便，配成（1.5～2）$mol \cdot L^{-1}$盐酸溶液）。注意所用的酸盐中不得含有硝酸、硝酸盐、卤素等氧化剂。

如用稀酸尚不能洗净时，则用焦硫酸钾，碳酸钠或硼砂熔融清洗。

如仍有污点，或表面发乌，则用通过100筛目的无尖锐棱角的细砂，用水润湿进行轻轻摩擦，使表面恢复光泽。

除铂坩埚之外，还有铂蒸发皿，燃烧用的铂小舟、铂古氏坩埚、铂电极等仪器，它们的使用和维护与上述相同。

（三）银坩埚

银坩埚用于过氧化钠及苛性碱熔融处理试样。不适于作沉淀称量用。

（1）银的熔点仅960℃，因此银坩埚使用温度一般不能超过700℃，用银坩埚时要特别严格控制温度。

（2）新银坩埚应先在（300～400）℃马弗炉中灼烧数分钟，除去表面油污，并使表面生成一层氧化膜，然后用稀盐酸（1+20）煮沸片刻，用水冲洗干净。

（3）银坩埚一经加热，表面就有一层氧化物，使其不受氢氧化钾或氢氧化钠的侵蚀，因此可以用氢氧化钠作为熔剂，也可以用碳酸钾（钠）与硝酸钠（或过氧化钠）作为混熔剂，以烧结法分解试样，但与空气接近的边缘处略起作用，因此熔融时间不能过长（一般不超过30min）。

（4）绝对不许在其中分解或灼烧含硫的物质，也不许在其中使用碱性硫化熔剂，因银很容易与硫作用生成硫化银。

（5）在熔融状态时，铝、锌、锡、铅、汞等金属盐都能使银坩埚变脆，对于汞盐、硼砂等也不能在银坩埚中灼烧和熔融。

（6）刚从火焰或电炉上取下的热坩埚，不许立刻用水冷却以免产生裂纹。

（7）银易溶于酸，在浸取熔融物时，不可使用酸，更不能长时间浸在酸里，特别是不可接触浓酸（如热的浓硝酸）。

（四）镍坩埚

镍坩埚可用以进行过氧化钠或碱熔融以代替贵金属。

（1）镍熔点1455℃，镍坩埚的使用温度不得超过900℃，镍在高温中易被氧化，因此不能做沉淀的灼烧和称量。

（2）在使用前放在水中煮沸数分钟，除去其污物，必要时可以加少量盐酸煮沸片刻。新的镍坩埚在使用前应先在高温中烧（2～3）min，以除去油污，并使表面氧化，延长使用寿命。

（3）可用氢氧化钠、过氧化钠、碳酸钠、碳酸氢钠及含有硝酸钾的碱性熔剂熔融。但不能用硫酸氢钾（钠）、焦硫酸钾（钠）等酸性熔剂以及含硫的碱性硫化物熔剂进行熔融。

（4）熔融状态的铝、锌、锡、铅和汞等金属盐，都能使镍坩埚变脆。硼砂等也不能在镍坩埚中灼烧和熔融。

（5）镍极易溶于酸，浸取熔融物时，不可使用酸，必要时也只能用数滴稀酸（1+20）稍洗一下。

(6) 镍坩埚中常含有微量的铬，使用时应注意。

（五）石英坩埚

石英坩埚的主要化学成分是二氧化硅，其中含有微量的铁、铝、钙、镁、钡等，除氢氟酸外，不与其他酸作用，易与苛性碱及碱金属碳酸盐作用，特别是在高温下，极易与上述物质共同熔融而破坏石英坩埚，对大部分其他化学物质则比较稳定。使用时应注意下列各点。

(1) 石英坩埚对热的稳定性很好，在1700℃以下不软化亦不挥发，但在1100℃～1200℃间开始变成不透明，而失掉机械强度，因此使用时必须严格控制在这个温度以下。

(2) 石英坩埚比玻璃器皿更脆，容易破碎，使用时要特别小心。

(3) 在石英坩埚中绝对不能使用氢氟酸，过氧化钠，苛性碱及碱金属碳酸盐，因为它们对石英都有侵蚀作用，还有多种金属氧化物在高温下能和石英作用而生成硅酸盐，破坏石英坩埚。

(4) 可以用硫酸氢钾（钠），焦硫酸钾（钠）硫代硫酸钠等作为熔剂。

(5) 清洗时，除氢氟酸外，普通稀无机酸均可用作清洗剂。

（六）聚四氟乙烯坩埚

(1) 化学性能稳定，能耐酸耐碱，不受氢氟酸的侵蚀。

(2) 表面光滑、耐磨，不易破碎、机械强度好等优点。

(3) 在400℃以下稳定，因此使用温度绝对不能超过400℃。一般控制在200℃左右，主要代替铂器皿用于氢氟酸溶样。

（七）铁坩埚和刚玉坩埚

因铁的价格低廉，使用普遍。如过氧化钠熔融也可以用铁坩埚来代替镍坩埚。

刚玉坩埚是由多孔性熔融氧化铝制成，是分析化学实验室中常用器皿。质坚而耐熔但易碎，不适用于酸熔剂熔样，只适用于某些碱熔剂熔融样品。但在测定铝和铝有干扰的情况下，不能使用。

在实验室中熔融样品时，需根据熔剂的性质，实验的要求选择适用的坩埚，见表2-8，在使用时严格控制条件，细心操作。

表2-8 适用于常用熔剂的坩埚

熔剂种类	适用坩埚						
	铂	铁	镍	银	瓷	刚玉	石英
无水碳酸钠	+	+	+	−	−	+	−
碳酸氢钠	+	+	+	−	−	+	−
1份无水碳酸钠加1份无水碳酸钾	+	+	+	−	−	+	−
6份无水碳酸钾加0.5份硝酸钾	+	+	+	−	−	+	−
3份无水碳酸钠加2份硼酸钠（熔融），研成细粉	+	−	−	−	+	+	+
1份无水碳酸钠加1份氧化镁	+	+	+	−	+	+	+
2份无水碳酸钠加1份氧化锌	+	+	+	−	+	+	+
4份碳酸钾钠加1份酒石酸钾	+	−	−	−	+	+	−
过氧化钠	−	+	+	−	−	+	−
5份过氧化钠加1份无水碳酸钠	−	+	+	+	−	+	−
4份过氧化钠加3份无水碳酸钠	−	+	+	+	−	+	−

续表

熔剂种类	适用坩埚						
	铂	铁	镍	银	瓷	刚玉	石英
氢氧化钠（钾）	—	+	+	+	—	—	—
6份氢氧化钠（钾）加0.5份硝酸钠（钾）	—	+	+	+	—	—	—
氰化钾	—	—	—	—	+	+	+
1份碳酸钠加1份硫磺	—	—	—	—	+	+	+
硫酸氢钾	+	—	—	—	+	—	+
焦硫酸钾	+	—	—	—	+	—	+
1份氟化氢钾加10份焦硫酸钾	+	—	—	—	—	—	—
氧化硼	+	—	—	—	—	—	—
硫代硫酸钠（在212℃熔干）	—	—	—	—	+		+
1.5份无水碳酸钠加1份硫磺	—	—	—	—	+	+	+

注：表中“+”表示可以使用；“—”表示不宜使用。

第六节　常用干燥剂

（一）干燥剂的特性和适用性

表2-9和表2-10分别给出了常用干燥剂的特性和适用性。

表2-9　常用干燥剂的特性

名称	化学式	吸水量	干燥速度	酸碱性	再生方法
五氧化二磷	P_2O_5	大	快	酸性	不能再生
分子筛	结晶的铝硅酸盐	大	较快	酸性	烘干，温度随型号而异
氧化钡	BaO	—	慢	碱性	不能再生
高氯酸镁	$Mg(ClO_4)_2$①	大		中性	烘干再生（251℃分解）
三水合高氯酸镁	$Mg(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$	—		中性	烘干再生（251℃分解）
氢氧化钾（熔融过的）	KOH	大	较快	碱性	不能再生
活性氧化铝	Al_2O_3	大	快	中性	在（110～300）℃下烘干再生
浓硫酸	H_2SO_4	大	快	酸性	蒸发浓缩再生
硫酸钙	$CaSO_4$	小	快	中性	在163℃（脱水温度）下脱水再生
硅胶	SiO_2	大	快	酸性	120℃下烘干再生
氢氧化钠（熔融过的）	$NaOH$	大	较快	碱性	不能再生
氧化钙	CaO	—	慢	碱性	不能再生
硫酸铜	$CuSO_4$	大	—	微酸性	150℃下脱水再生
氯化钙（熔融过的）	$CaCl_2$	大	快	含碱性杂质	200℃下脱水再生
硫酸镁	$MgSO_4$	大	较快	中性、有的微酸性	200℃下脱水再生
硫酸钠	Na_2SO_4	大	慢	中性	烘干再生
碳酸钾	K_2CO_3	中	较慢	碱性	100℃下烘干再生
金属钠	(Na)	—		—	不能再生

① 使用高氯酸盐时务须小心，碳、硫、磷及一切有机物均不可与之直接接触，否则会产生猛烈爆炸。

表 2-10 干燥剂的适用性

干燥剂	适用范围	不适用范围	备注
P_2O_5	大多数中性或酸性气体，乙炔，二硫化碳，烃，卤代烃，酸溶液（干燥器、干燥枪），酸与酸酐，腈	碱性物质，醇，酮，易发生聚合的物质，氯化氢，氟化氢	使用时应与载体（石棉绒、玻璃棉、浮石等）混合；一般先用其他干燥剂预干燥；本品易潮解，与水作用生成偏磷酸、磷酸等
浓 H_2SO_4	大多数中性与酸性气体（干燥器、洗气瓶），饱和烃，卤代烃，芳烃	不饱和的有机化合物，醇，酮，酚，碱性物质，硫化氢，碘化氢	不适宜升温真空干燥
BaO、CaO	中性或碱性气体，胺，醇	醛，酮，酸性物质	特别适用于干燥气体，与水作用生成 $Ba(OH)_2$、$Ca(OH)_2$
NaOH、KOH	氨，胺，醚，烃（干燥器），肼	醛，酮，酸性物质	易潮解
K_2CO_3	胺，醇，丙酮，一般的生物碱，酯，腈	酸，酚及其他酸性物质	易潮解
Na	醚，饱和烃，叔胺，芳烃	氯代烃（爆炸！），醇，伯、仲胺及其他易与金属钠起反应的物质	一般先用其他干燥剂预干燥；与水作用生成 NaOH 与 H_2
$CaCl_2$	烃，链烯烃，醚，酯，卤代烃，腈，中性气体，氯化氢	醇，氨，胺，酸，酸性物质，某些醛，酮与酯	价廉，可与许多含氮、含氧的化合物生成溶剂化物、络合物或发生反应；含有 CaO 等碱性杂质
$Mg(ClO_4)_2$	含有氨的气体（干燥器）	易氧化的有机液体	适用于分析工作，能溶于多种溶剂中；处理不当会发生爆炸
Na_2SO_4、$MgSO_4$	普遍适用，特别适用于酯及敏感物质溶液		价廉；Na_2SO_4 常作预干燥剂
$CaSO_4$	普遍适用		常先用 Na_2SO_4 作预干燥剂
硅胶	（干燥器）	氟化氢	
分子筛	温度 100℃以下的大多数流动气体；有机溶剂（干燥器）	不饱和烃	一般先用其他干燥剂预干燥；特别适用于低分压的干燥
CaH_2	烃，醚，酯，C_4 及 C_4 以上的醇	醛，含有活泼羰基的化合物	作用比氢化锂铝慢，但效率差不多，且较安全，是最好的脱水剂之一，与水作用生成 $Ca(OH)_2$、H_2
$LiAlH_4$	烃，芳基卤化物，醚	含有酸性 H，卤素，羰基及硝基等的化合物	使用时小心！过剩的可慢慢加乙酸乙酯将其破坏；与水作用生成 LiOH、$Al(OH)_3$ 与 H_2

（二）各类分子筛的化学组成及特性

类　型	孔　径 ϕ/Å (1 Å $=10^{-8}$ cm)	化　学　组　成	水吸附量 w/（%）	特　性　和　应　用
A 型				
3A 或钾 A 型	3.0	$(0.75K_2O,\ 0.25Na_2O):Al_2O_3:2SiO_2$	25	只吸附水，不吸附乙烯、乙炔、二氧化碳、氨和更大的分子
4A 或钠 A 型	4.0	$Na_2O:Al_2O_3:2SiO_2$	27.5	吸附水、甲醇、乙醇等
5A 或钙 A 型	5.0	$(0.75CaO,\ 0.25Na_2O):Al_2O_3:2SiO_2$	27	用于正异构烃类的分离
X 型				
10X 或钙 X 型	9.0	$(0.75CaO、0.75Na_2O):Al_2O_3:(2.5\pm0.5)\ SiO_2$	…	用于芳烃类异构体分离
13X 或钠 X 型	10.0	$Na_2O:Al_2O_3:(2.5\pm0.5)\ SiO_2$	39.5	用于催化剂载体和水-二氧化碳、水-硫化氢的共吸附
Y 型	10.0	$Na_2O:Al_2O_3:(3-6)\ SiO_2$	35.2	经过蒸汽处理后，仍有高的吸氧量

（三）分子筛按分子大小吸附分类

He、Ne、Ar、H_2、O_2、N_2、H_2O 能被钾 A 型（3A）分子筛吸附	Kr、Xe、CH_4、CO、NH_3、C_2H_6、C_2H_4、C_2H_2、CH_3OH、CH_3CN、CH_3NH_2、CH_3Cl、CH_3Br、CO_2、CS_2 能被钠 A 型分子筛（4A）吸附	C_3-C_{14}正烷烃、C_2H_5Cl、C_2H_5Br、CH_3I、C_2H_5OH、B_2H_6、$C_2H_5NH_2$、CF_4、CH_2Br_2、C_2F_6、CH_2Cl_2、CF_2Cl_2、CHF_3、CF_3Cl、$(CH_3)_2NH$、$CHFCl_2$ 能被钙 A 型（5A）分子筛吸附	SF_6、$C(CH_3)_4$、$CHCl_3$、$C(CH_3)_3Cl$、$CHBr_3$、$C(CH_3)_3Br$、CHI_3、$C(CH_3)_3OH$、N-$C_3F_8CCl_4$、$(C_2H_5)_3N$、N-C_4F_{10}、环己烷、N-C_7H_{16}、萘、喹啉、CBr_4、噻吩、甲苯、C_6H_6、B_5H_{10}呋喃、单酮类、$(CH_3)_3N$、二氧杂环己烷、吡啶	1,3,5-三乙基苯	正三丁胺（n-$C_4H_9)_3N$
能被钙-X型（10X）分子筛吸附					
能被钠 X 型（13X）分子筛吸附					
能被 Y 型分子筛吸附					

第七节　常用致冷剂

一、实验室用致冷剂

在实验室利用雪、冰和盐按一定比例混合可得到低到-80℃的温度。使用液态气体可以得到-273.16℃的温度。盐、碱、酸与水、雪、冰的配比及所得到的温度见表 2-11～表 2-13，用于致冷的液态气体见表 2-14。

表 2-11 盐和水（冷至 15℃）混合后的温度

盐	在 100 份水中溶解盐的份数	最低温度 t/℃	盐	在 100 份水中溶解盐的份数	最低温度 t/℃
$(NH_4)_2SO_4$	75	9	NH_4Cl	30	−3
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	20	8	$Na_2S_2O_3$	110	−4
$MgSO_4$	85	7	$CaCl_2$	250	−8
Na_2CO_3	40	6	NH_4NO_3	100	−12
KNO_3	16	5	$NH_4Cl+KNO_3$	33+33	−12
$(NH_4)_2CO_3$	30	3	NH_4CNS	133	−16
KCl	30	2	$KCNS$	100	−24
$NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$	85	−0.5	$NH_4Cl+KNO_3$	100+100	−25

表 2-12 盐或酸与雪或碎冰混合后的温度

加入雪中的物质	100 份雪中加入物质的份数	最低温度 t/℃	加入雪中的物质	100 份雪中加入物质的份数	最低温度 t/℃
Na_2CO_3	20	−2	$KNO_3+NH_4NO_3$	9+74	−25
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	41	−9	$NaNO_3+NH_4NO_3$	55+52	−26
KCl	30	−11	KNO_3+NH_4CNS	9+67	−28
NH_4Cl	25	−15	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	100	−29
NH_4NO_3	50	−17	KCl（工业用）	100	−30
$NaNO_3$	50	−18	$NH_4Cl+KNO_3$	13+38	−31
38%HCl	50	−18	$KCNS+KNO_3$	112+2	−34
$(NH_4)_2SO_4$	62	−19	$NH_4CNS+NaNO_3$	40+55	−37
浓 H_2SO_4	25	−20	66%H_2SO_4	100	−37
$NaCl$	33 到 100	−20 到 −22	稀 HNO_3	100	−40
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O+(NH_4)_2SO_4$	9.6+69	−20	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	125	−40.3
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	82	−21.5	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	150	−49
$NH_4Cl+NH_4NO_3$	18.8+44	−22.1	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	500	−54
$NH_4Cl+(NH_4)_2SO_4$	12+50.5	−22.5	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	143	−55

表 2-13 盐和冰混合后的温度

物质	无水物质的质量分数 w/(%)	最低温度 t/℃	物质	无水物质的质量分数 w/(%)	最低温度 t/℃	物质	无水物质的质量分数 w/(%)	最低温度 t/℃
$Pb(NO_3)_2$	35.2	−2.7	NH_4Cl	22.9	−15.8	$CaCl_2$	29.9	−55
$MgSO_4$	21.5	−3.9	$NaNO_3$	37.0	−18.5	$ZnCl_2$	52.0	−62
$ZnSO_4$	27.2	−6.6	$NaCl$	28.9	−21.2	KOH	32.0	−65
$BaCl_2$	29.0	−7.8	$NaOH$	19.0	−28.0	HCl	24.8	−86
$MnSO_4$	47.5	−10.5	$MgCl_2$	20.6	−33.6			
$Na_2S_2O_3$	30.0	−11.0	K_2CO_3	39.5	−36.5			

表 2-14 一般用以致冷的液态气体

物 质	沸 点 t/℃	三相点温度 t/℃[①]	三相点压力 kPa (cmHg)	物 质	沸 点 t/℃	三相点温度 t/℃[①]	三相点压力 P/kPa (cmHg)
二氧化碳(固)	−78.5[②]	—	—	氮	−195.8	−209.9	13 (9.6)
氧化亚氮	−89.8	−102.4	—	氢	−252.8	−259.1	6.8 (5.1)
甲 烷	−161.4	−183.1	93 (7.0)	氦	−268.9	—	—
氧	−183.0	−218.4	2.7×10^{-1} (0.2)				

① 表示气、液、固三相平衡时温度。

② 表示固体二氧化碳的升华温度。

二、使用液态气体做致冷剂的注意事项

(1) 使用液态气体时，液态气体经过减压阀先进入一个耐压的大橡皮袋和气体缓冲瓶，再由此进入到要使用的仪器，这样防止液态气体因减压而突然沸腾气化、压力猛增而发生爆炸的危险。

(2) 使用液态氧，绝对不允许与有机化合物接触，以防止燃烧。

(3) 使用液态氢时，对已气化放出的氢气必须极为谨慎地把它燃烧掉或放入高空，因在空气中含有少量氢气（约 5%）也会发生猛烈爆炸。

(4) 使用干冰时应注意，因二氧化碳在钢瓶中是液体，使用时先在钢瓶出口处接一个既保温又透气的棉布袋，将液态二氧化碳迅速而大量地放出时，因压力降低，二氧化碳在棉布袋中结成干冰。然后再与其他液体混合使用，如与二氯乙烯混合平衡温度达−60℃；与乙醇混合达−72℃，与乙醚混合达−77℃；与丙酮混合达−78.5℃。

(5) 在使用液态气体时，都必须戴皮（棉）手套，防止低温冻伤，同时对钢瓶的存放有特殊要求，详见第一分册第十章。

低温时常用的几种热传导介质见表 2-15。

表 2-15 低温用的热传导体

液 体	20℃时比热容[①] c/ (kcal·kg^{-1}·℃$^{-1}$)	凝固点 t (近似值) /℃	沸 点 t/℃	在所列温度下的近似粘度 η/ (10^{-3}Pa·s)						
				20℃	0℃	−20℃	−40℃	−60℃	−80℃	−100℃
丙 酮	0.53	−95	56.5	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.5	—
乙 醇	0.58	−115	78.5	1.2	1.8	2.8	5.0	8.5	21.0	50
乙 醚	0.54	−116	34.6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	1.0	1.7
正戊烷	—	−130	36.2	—	—	—	—	—	—	—
正丁烷	0.55	−135	−0.6	—	—	—	—	—	—	—
异戊烷	0.53	−160.5	28	0.2	0.3	—	—	—	—	—

① 与 SI 单位的换算关系是：1kcal·kg^{-1}·℃$^{-1}$=4.187×10^3J·kg^{-1}·K^{-1}。

第八节 常用加热浴物质

一、常用浴的加热温度

常用加热浴所用载体与极限温度情况见表 2-16。

表 2-16 常用加热浴

名　称	加　热　载　体	极限温度 t/℃	名　称	加　热　载　体	极限温度 t/℃
水浴	水	98	油浴	棉子油[②]	210
空气浴	空气	300			
砂浴	砂	400		甘油	220
硫酸浴	硫酸	250		石蜡油	220
石蜡浴	熔点为（30—60）℃的石蜡	300		58—62 号汽缸油	250
金属浴[①]	铜或铅	500		甲基硅油	250
	锡	600		苯基硅油	300
	铝青铜（90% Cu、10% Al 合金）	700			

① 在使用金属浴时，在器皿底部先涂上一层石墨，防止熔融金属粘附在器皿上，特别在用玻璃器皿时；同时，在金属凝固前将其移出金属浴。

② 棉籽油初次使用，最高温度在 180℃以下；多次使用后温度可升高到 210℃。

二、用于液体浴的介质

用于液体浴的介质的性质及其使用温度范围见表 2-17。

表 2-17 液体浴介质

介　　质	熔　点 t/℃	沸　点 t/℃	使用的温度范围 t/℃	粘　度 η/（10^{-3}Pa·s）
萘（$C_{10}H_8$）	80.2	217.9	80～200	0.776（在 100℃）
润滑油	—	—	20～175	30（在 80℃）
乙二醇	−12.3	197.2	−10～180	21（在 20℃）
导热姆 A（73.5%二苯氧化物，26.5%联苯）	12.1	260	15～225	1.0（在 100℃）
二苯甲酮	48.1	305.9	50～275	4.79（在 55℃）
80% H_3PO_4，20% HPO_3	<20	—	20～250	—
三甘醇	−5	287.4	0～250	47.8（在 20℃）
甘油（丙三醇）	—	290	−20～260	1069（在 20℃）
硅　油[①]	−48	—	−40～250	—
66.7% H_3PO_4，33.3% H_3PO_3	—	—	125～340	—
石　蜡	约 50	—	60～300	—
硫　酸	10.5	330	20～300	—
硬芝麻油	约 60	约 350	60～320	—
汞	−38.9	356.58	−35～350	1.5（在 20℃）
四甲基硅酸酯	<−48	436—441	20～400	—
硫	112.8	444.6	120～400	7.1（在 150℃）
51.3% KNO_3，48.7% $NaNO_3$	219	—	230～500	—
40% $NaNO_2$，7% $NaNO_3$，53% KNO_3	142	—	150～500	17.7（在 149℃）
铅	327.4	1613	350～800	2.58（在 350℃）
焊锡（50% Pb，50% Sn）	225	—	250～800	—
40% NaOH，60% KOH	167	—	200～1000	—

①硅油牌号和特性：

牌号：	201～100	201～350	201～500	201～800	201～1000
粘度范围 $\nu/10^{-6}m^2\cdot s^{-1}$：	100±8	350±8	500±5	800±5	1000±5
闪点 t/℃：		>265		>300	

第九节　无机试剂和有机试剂的提纯及制备方法

本节除介绍一般分析工作用的一级试剂、基准试剂的纯制方法外，还提供了光谱分析等要求纯度更高的无机试剂以及有机溶剂和特殊有机试剂的纯制方法。

一、无机试剂的提纯与制备

（一）盐酸的提纯

1. 蒸馏提纯

（1）除去一般杂质的盐酸　用三次离子交换水将一级盐酸按盐酸＋水＝7＋3的体积比稀释（或按1＋1稀释，按此比例稀释仅能得到浓度为6mol・L^{-1}的盐酸）。将此盐酸1.5L装入2L的石英或硬质玻璃蒸馏瓶中（见图2-3），用可调变压器调节加热器，控制馏速为200ml・h^{-1}，弃去前段馏出液150ml，取中段馏出液1L，所得的纯盐酸浓度为6.5～7.5mol・L^{-1}，铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在5×10^{-6}%～2×10^{-7}%以下。

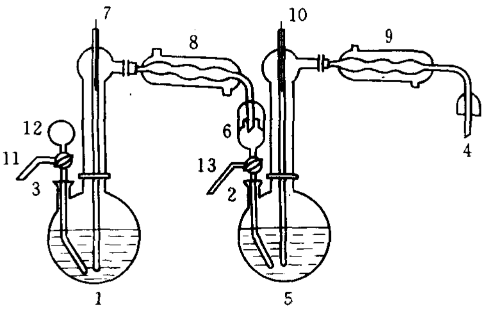


图 2-3　双重蒸馏器的装置

1，5—2L蒸馏瓶（石英或硬质玻璃）；2，3—排液侧管；4—馏出液出口；6，12—加料漏斗；7，10—温度计套管；8，9—冷凝管；11，13—三通活塞

（2）除去砷的盐酸　用三次离子交换水将一级盐酸按7＋3的体积比稀释，加入适量氧化剂（按体积加入2.5%硝酸或2.5%过氧化氢或高锰酸钾0.2g・L^{-1}）。将此盐酸1.5L装入2L的石英或硬质玻璃蒸馏瓶中（见图2-3），放置15min后，以100ml・h^{-1}的馏速进行蒸馏。弃去前段馏出液150ml，取中段馏出液1L备用。砷的含量在1×10^{-6}%以下。

2. 等温扩散法提纯　在直径为30cm的干燥器中（若是玻璃的，可在干燥器内壁涂一层白蜡防止沾污），加入3kg盐酸（优级纯），在瓷托板上放置盛有300ml高纯水的聚乙烯或石英容器。盖好干燥器盖，在室温下放置7～10d（20～30℃放置7d，15～20℃放置10d），取出后即可使用，盐酸浓度约为9～10mol・L^{-1}，铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在2×10^{-7}%以下。

（二）硝酸的提纯

于2L硬质玻璃蒸馏器（见图2-3）中，放入1.5L硝酸（优级纯），在石墨电炉上借可调变压器调节电炉温度进行蒸馏，馏速为200～400ml・h^{-1}，弃去初馏分150ml，收集中间馏分1L。

将上述得到的中间馏分2L，放入3L石英蒸馏器中。将石英蒸馏器固定在石蜡浴中进行蒸馏，借可调变压器控制馏速为100ml・h^{-1}。弃去初馏分150ml，收集中间馏分1600ml。铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在2×10^{-7}%以下。

（三）氢氟酸的提纯

1. 除去金属杂质的氢氟酸　在铂蒸馏器中，加入2L氢氟酸（优级纯）以甘油浴加热，借可调变压器调节控制加热器温度，控制馏速为100ml・h^{-1}，弃去初馏分200ml，用聚乙烯瓶收集中间馏分1600ml。将此中段馏出液1 600ml，按上述手续再蒸馏一次，弃去前段馏出液150ml，收集中段馏出液1 250ml，保存在聚乙烯瓶中。铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、

锰、铬、锡的含量在（$1\times10^{-6}\sim2\times10^{-7}$）%以下。

2. 除去硅的氢氟酸　在铂蒸馏器中，放入750ml氢氟酸（优级纯）。加入0.5g氟化钠，在甘油浴上加热。借可调变压器调节加热温度，控制馏速为$100ml\cdot h^{-1}$，弃去初馏分80ml，用聚乙烯瓶收集中间馏分400ml。此中间馏分硅含量在1×10^{-4}%以下，可作测定硅用。

3. 除去硼的氢氟酸

于铂蒸馏器中，加入2g固体甘露醇（优级纯或分析纯）和2L氢氟酸（优级纯），用甘油浴加热，借可调变压器控制温度，使馏速为$50ml\cdot h^{-1}$。弃去初馏分200ml，收集中间馏分1600ml。将此中间馏分1 600ml，加入2g甘露醇，以同样手续再蒸馏一次。弃去初馏分150ml，收集中间馏分1 250ml，得到的氢氟酸含硼量一般小于10^{-9}%。

（四）氢溴酸的提纯

1. 除去金属杂质的氢溴酸

于硬质玻璃蒸馏器（图2-3）的第一级蒸馏瓶中加入1.5L氢溴酸，在石墨电炉上加热，用可调变压器控制温度，使馏速为（150～200）$ml\cdot h^{-1}$。第一级蒸馏出来的稀酸从侧管2流出，弃去温度在115℃以前的馏出液。当温度升至115℃时，再转动活塞13，使第一级馏出液流入第二级蒸馏瓶中。当第二级蒸馏瓶中的馏出液体积达1L时，开始加热第二级蒸馏瓶，以（150～200）$ml\cdot h^{-1}$的馏速进行蒸馏，弃去初馏分100ml，收集中间馏分。当第一级蒸馏瓶中氢溴酸的体积只剩下500ml左右时，切断电源和转动活塞11，由加料漏斗继续加入（1.2～1.5）L氢溴酸，如上述收集115℃以后的中间馏分。同上法将第二套石英蒸馏器连接在第一套玻璃蒸馏器之后，进行第三次和第四次蒸馏。此时，由于酸已接近于恒沸混合物，上述截取稀馏分的手续可省去。每次以侧管放出初馏分（50～100）ml，然后收集第四次中间馏分备用。铁、铝、钙、镁、铜、铅、锌、钴、镍、锰、铬、锡的含量在1×10^{-6}%～3×10^{-7}%以下。

2. 除去硫的氢溴酸

于石英蒸馏器中，加入1.5L由玻璃蒸馏瓶蒸馏出的氢溴酸。加入0.2g纯氯化钡和0.2ml经过提纯的溴。用可调变压器控制加热，使馏速维持在$100ml\cdot h^{-1}$，弃去初馏分，直至馏出液无色时，使馏出液流入第二级蒸馏瓶中。当馏出液的体积约为1L左右时，再进行第二级蒸馏。弃去前段馏出液100ml，收集中间馏分备用。硫的含量小于2×10^{-6}%。

（五）高氯酸的提纯

高氯酸用减压蒸馏法提纯。在500ml硬质玻璃蒸馏瓶中，加入（300～350）ml高氯酸（60%～65%，分析纯），用可调变压器控制温度约（140～150）℃，减压至压力约为（2.67～3.33）kPa[（20～25）mmHg]，馏速为（40～50）$ml\cdot h^{-1}$，弃去初馏分50ml，收集中间馏分200ml，保存在石英试剂瓶中备用。

（六）氨水的提纯

1. 蒸馏吸收法提纯

将约3L二级氨水倾入5L硬质玻璃烧瓶中，加入少量1%高锰酸钾溶液至溶液呈微红紫色，烧瓶口接回流冷凝管，冷凝管的上端与三个洗气瓶连接（第一个洗气瓶盛1%EDTA二钠溶液，其余两个均盛离子交换水）。第三个洗气瓶与接收瓶连接，接收瓶为有机玻璃瓶，置于混有食盐和冰块的水槽内，瓶内盛有1.5L离子交换水。用调压变压器控制温度。当温度升至40℃时，氨气通过洗气瓶后被接收瓶的水吸收。当大部分氨挥发后，最后升温至80℃使氨全部挥发。接收瓶中的氨水浓度稍低于25%。

2. 等温扩散法提纯

将约2L二级氨水倾入洗净的大干燥器（液面勿接触瓷托板），瓷托板上放置3～4个分盛200ml离子交换水的聚乙烯或石英广口容器，从托板小孔，加入氢氧化钠（2～3）g，迅速盖上干燥器，每天摇动一次，（5～6）d后氨水浓度可达10%～12%。

（七）溴的提纯

将500ml溴（优级纯或分析纯），放入1L分液漏斗中，加入100ml三次离子交换水，剧烈振荡2min，分层后将溴移入另一个分液漏斗中，再以100ml水洗涤一次，然后，再以稀硝酸（1＋9）洗涤二次和高纯水洗涤一次，每次振荡2min。

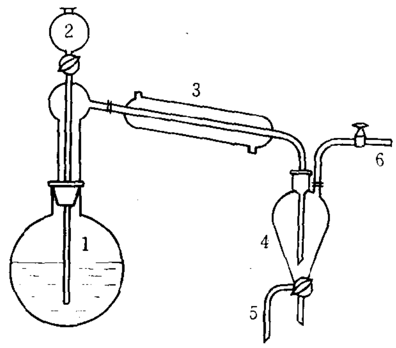


图2-4　蒸馏装置

1—1L烧瓶（硬质玻璃）；2—加料漏斗；3—冷凝管；4—馏出液贮瓶；5—贮液瓶流出管；6—排气管

将上述洗好的溴移入如图2-4的烧瓶中，加入100ml40%溴化钾溶液，在水浴上加热蒸馏。保持水浴温度在60℃左右，使馏速为$100ml \cdot h^{-1}$。接收瓶4中的液体应淹没流出管口。弃去最初蒸出的溴50ml，收集中间馏分300ml。在该装置中不加溴化钾溶液再蒸馏一次，收集中间馏分（200～250）ml备用。

（八）钼酸铵的提纯

将150g分析纯的钼酸铵溶解于400ml升温度为80℃的水中，加入氨水至溶液中出现氨味，加热溶液并用致密定量滤纸（蓝带）过滤，滤液滴入盛有300ml的纯制酒精中。冷却滤液至10℃，并保持1h。用布氏漏斗抽滤析出的结晶，弃去母液。用纯制酒精洗涤结晶（2～3）次，每次用（20～30）ml 。在空气中干燥或在干燥器中用硅胶干燥，也可以在真空干燥箱中（50～60）℃下，压力为（6.67～8.00）kPa［（50～60）mmHg］下干燥。

如果要除去试剂钼酸铵中的磷酸根离子，则在钼酸铵的氨性溶液中加入少量硝酸镁，使之生成磷酸铵镁沉淀过滤除去，然后再按上述手续结晶、过滤、洗涤、干燥。不过此时产品中有镁离子和硝酸根离子。但是用于微量硅、磷、砷的比色测定时，少量镁离子和硝酸根离子并不干扰。

（九）钒酸铵的提纯

在1500ml高纯水和60ml纯制氨水（25%）的混合溶液内，加热溶解100g钒酸铵。将溶液加热到70℃，加入10g经过处理的活性炭❶，搅拌10min后在布氏漏斗中过滤。往滤液中加入20g纯制氯化铵（或150g纯制硝酸铵），使钒酸铵析出。在布氏漏斗中过滤之，并用2%的氯化铵溶液及高纯水洗涤结晶，再用纯酒精洗涤二次。在不超过25℃下于真空干燥箱中干燥之。如果需要更高质量的钒酸铵，则可以按上法重复结晶一次。

上述产品中欲进一步除去微量硅时，可对所得的钒酸铵作如下的处理：将二次结晶的钒酸铵置于白金皿中，滴入（1～2）ml纯制氢氟酸，于高温电炉上加热赶掉氢氟酸，取下白金皿，再加1—2ml氢氟酸，继续赶掉氟化氢。取下白金皿再滴入2ml（1＋1）高纯硫酸和5～10滴纯制硝酸，继续在电炉上加热以除尽氟化氢和微量有机物，电炉温度应当逐渐升高并在

❶　活性炭的处理方法：将粒状（$\phi 2\times 10$）活性炭（工业纯）放在瓷皿中，盖好盖子，放入马弗炉中（最好在通有氢气流的管状炉或真空炉中）于800—900℃下灼烧1h。取出放冷后，放到1＋1盐酸中浸泡数小时，再煮沸半小时。在布氏漏斗中吸滤，用高纯水洗至无氯根。并将洗好的活性炭用高纯水煮半小时，于烘箱中在110℃下干燥之，贮存于干燥器中，备用。

450℃下保持 1h。将生成的五氧化二钒溶于尽量少的氨水中，加 20 克氯化铵（或 150g 硝酸铵），使钒酸铵析出。按上述方法过滤、洗涤和干燥钒酸铵。

（十）硼酸的提纯

1. 离子交换法

在加热下将硼酸溶解于高纯水中，将溶液加热至(50～60)℃并使硼酸浓度为 10%。趁热用绸布过滤并将滤液注入交换柱中。交换速度控制为(6～10)ml·min^{-1}。将经过离子交换的溶液加热浓缩，然后倒入塑料杯中冷却使硼酸结晶析出，待晶体完全析出后，用布氏漏斗抽滤之，并用少量高纯水洗涤几次并抽干。将结晶的硼酸置于滤纸上在真空干燥箱中压力为(2.67～4.00)kPa[(20～30)mmHg]下烘焙约 2h，温度控制在 50℃左右，切不可超过 55℃。打开真空干燥箱，擦去箱内水分，并继续在(30～40)℃下，真空度为 6.67kPa(50mmHg)左右烘焙 2h。取出放入干燥器中冷却之。此法提纯的硼酸满足半导体材料分析中对硼酸的要求。

如果使用硼酸溶液，则上述经过离子交换后的硼酸溶液标定浓度后，可以直接使用而无需浓缩、结晶、干燥等一系列操作，这样可以减少污染。

混合床离子交换柱的准备与装填：离子交换树脂选用强酸 1 号或上海 732 号强酸性阳离子交换树脂以及上海 717 号或强碱 201 号强碱性阴离子交换树脂。将再生转化为氢型的强酸性阳离子交换树脂 80ml 和再生转化为羟型的强碱性阴离子交换树脂 160ml 在烧杯中混合均匀后，装至 $\phi20\times1000$ 的硬质玻璃交换柱中，此时树脂层高度约为 80cm，见图 2-5。注意不要在树脂层中形成气泡，若有气泡可用长玻璃棒搅动树脂的方法排除。用高纯水适当淋洗交换柱，并将柱中水位放至比树脂层稍高一点时为止。

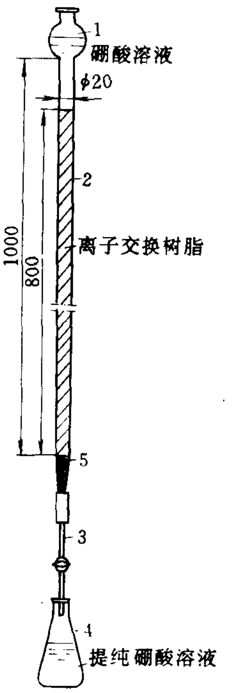


图 2-5 提纯硼酸的离子交换装置图

1—加料漏斗($\phi60$)；2—交换柱($\phi20\times1000$)；3—溶液导出管($\phi8\times120$)；4—接受瓶；5—支持树脂的玻璃毛

树脂的再生：当发现离子交换树脂已交换到饱和时，应当对树脂进行再生。单床的再生在交换柱中进行，用高纯水逆洗树脂，洗除机械杂质。然后用 1L2mol·L^{-1}的盐酸（阴柱用相同浓度和数量的氢氧化钠溶液）以 20ml·min^{-1}的速度通过交换柱，再用高纯水洗涤至阳树脂柱无阳离子，pH=6 左右；阴离子交换柱无氯离子，pH=8 左右时为止。混合床离子交换树脂则需要将树脂倒出，将阴阳树脂分开后再按上述方法再生。

2. 活性炭吸附法

活性炭的处理方法见“钒酸铵的提纯”中的注文。将硼酸(70～80)g(分析纯)溶解在温度为(70～80)℃的 1L 热高纯水中，再将处理好的活性炭(10～20)g 加至溶液中，在不析出硼酸的温度下搅拌(20～30)min。然后用布氏漏斗抽滤之，将滤液浓缩至(400～500)ml，冷却使之析出结晶。抽滤析出的硼酸，并用少量高纯水洗涤。将洗好的硼酸照前述的方法干燥之。

3. 硝酸法

将 100g 硼酸溶解于 1600ml 水中，加入 4ml 浓硝酸。蒸发溶液至出现结晶，取下冷却。抽滤法滤出结晶，并用水洗至无 NO_3^-（用二苯胺检查），然后烘干。

（十一）氯化钠的提纯

1. 重结晶提纯法

将 40g 分析纯氯化钠溶解于 120ml 高纯水中，加热搅拌使之溶解。加入（2～3）ml 铁标准液（1mg・$ml^{-1}Fe^{3+}$），搅拌均匀后滴加提纯氨水至溶液 pH≈10 左右。在水浴上加热使生成的氢氧化物沉淀凝聚，过滤除去沉淀。将滤液放至铂皿中，在低温电炉上密闭蒸发器中蒸发至有结晶薄膜出现。冷却抽滤析出的结晶，并用纯制酒精洗涤。在真空干燥箱中于 105℃和 2.67kPa（20mmHg）压力下干燥。此法得到的 NaCl 经光谱定性分析仅含有微量的硅、铝、镁和痕量的钙。

2. 用碳酸钠和盐酸制备

取 100g 分析纯碳酸钠，放于 500ml 烧杯中，滴加高纯盐酸中和、溶解，直至不再发生二氧化碳时，停止滴加盐酸。用高纯水洗杯壁并加入（2～3）ml 铁标准液，加提纯氨水至析出氢氧化铁。其余手续如上所述。

为了提高氯化钠产量和重结晶的纯化效果，在过滤热盐溶液之后，用冰冷却滤液并用通入氯化氢的方法使氯化钠析出。通氯化氢的导气管口做成漏斗状，防止析出的 NaCl 将管口堵死。抽滤结晶并用浓盐酸洗涤几次，在（110～105）℃下干燥，在研钵中粉碎成粉末，并于（400～500）℃下在马弗炉中灼烧至恒重。

上述方法提纯制得的氯化钠用于光谱分析中作载体和配标准用的原始物质。

（十二）氯化钾的提纯

参看氯化钠的提纯与制备方法。

（十三）碳酸钠的提纯

1. 第一法　将 30g 分析纯碳酸钠溶于 150ml 高纯水中，待全部溶解后，在溶液中慢慢滴加（2—3）ml 浓度为 1mg・mL^{-1}的铁标准溶液，在滴加铁标准液过程中要不停地搅拌，使杂质与氢氧化铁一起共沉淀。在水浴上加热并放置 1h 使沉淀凝聚，过滤除去胶体沉淀物。加热浓缩滤液至出现结晶时，取下冷却，待结晶完全析出后用布氏漏斗抽滤，并用纯制酒精洗涤（2～3）次，每次 20ml。在真空干燥箱中减压干燥，温度为（100～105）℃，压力为（2.67～6.67）kPa［（20～50）mmHg］下烘至无结晶水。为了加速脱水，也可在（270～300）℃下灼烧之。此法提纯的碳酸钠，经光谱定性分析检查，仅检出了痕量的镁和铝，而原料中有微量的铜、铁、铝、钙、镁。

2. 第二法　将 30g 分析纯或化学纯无水碳酸钠溶解于 150ml 高纯水中，过滤，并向滤液中慢慢通入提纯过的二氧化碳，此时析出碳酸氢钠白色沉淀。因为生成的碳酸氢钠在冷水中的溶解度较小（碳酸氢钠在 100ml 冷水中的溶解度：0℃－6.9g；20℃—9.75g），用冰水冷却，并不断振荡或搅拌，以加速反应。通气 2h 后，沉淀基本完全。用玻璃滤器（3 号）抽滤析出的沉淀，并用冰冷的高纯水洗涤沉淀，在烘箱中于 105℃下干燥。将干燥好的碳酸氢钠，置于铂皿中，在马弗炉中（270～300）℃下灼烧至恒重（大约 1h 左右即可）。

（十四）结晶焦磷酸钠的提纯

将 50g 化学纯结晶焦磷酸钠置于铂皿中，加入 100ml 高纯水，加热溶解，用玻璃滤器过滤，将滤液置于铂皿中，放到水浴上蒸发，当体积减少到 1/2～1/3 时，取下慢慢冷却使之结晶。用布氏漏斗过滤，以纯制酒精洗涤，最后于真空干燥箱中 80℃下干燥即得到产品。

（十五）无水焦磷酸钠的提纯

称取 10g 化学纯 $Na_2HPO_4\cdot12H_2O$，置于 50ml 瓷坩埚内。放到水浴上加热，当温度升至（52～54）℃时，盐开始溶于结晶水中，65℃时全部溶解。趁热在预先加热的漏斗上过滤，滤液置于坩埚中，放到砂浴上加热，除去结晶水。将坩埚再放到马弗炉中，于（580～600）℃下灼烧 2 小时，取出冷却后即得到无水焦磷酸钠。

（十六）硫酸钾的提纯

将提纯过的碳酸钾（提纯方法见碳酸钠的提纯法“1.”）置于塑料烧杯中，用10%的纯制硫酸中和，在逐渐滴加稀硫酸的过程中要不断搅拌，当溶液的pH值为7～7.5时，停止滴加硫酸。过滤得到的硫酸钾溶液，将滤液移入铂皿中，蒸发至析出结晶时为止。取下，冷却后，抽滤析出的结晶，用少量冰冷的高纯水洗结晶，在真空干燥箱中100℃左右烘干。

（十七）重铬酸钾的提纯

将100g分析纯重铬酸钾溶解在（200～300）ml热的高纯水中，用2号玻璃滤器抽滤，将溶液于电炉上蒸发至150ml左右，在强烈搅拌下把溶液倒入一个被冰水冷却的大瓷皿中使之形成一薄层，以制取小粒结晶。用布氏漏斗抽滤得到的结晶，并用少量冷水洗涤之。按上法重结晶一次。将洗过的二次结晶于（100～105）℃下干燥（2～3）h，然后将温度升至200℃继续干燥（10～12）h。

用此法提纯的产品重铬酸钾含量几乎是100%。光谱定性分析中仅检出了微量的镁、铋和痕量的铝。此法提纯的重铬酸钾可以作为基准物使用。

（十八）焦硫酸钾的提纯与制备

1. 用硫酸和硫酸钾制备　称取87g纯制硫酸钾置于铂皿中，加入26.6ml纯浓硫酸，将铂皿放到石墨电炉上加热至皿内物质开始冒少量烟，而且皿内熔物成为透明熔体不再冒气泡时为止，取下铂皿，冷却至（50～60）℃，趁热将凝固的焦硫酸钾用玛瑙研钵捣碎并将产品放至带磨口的试剂瓶中保存。

2. 用氯化钾和硫酸制备　称取40g纯制氯化钾，置于铂皿中，加入30ml纯浓硫酸，在电炉上加热到不再冒氯化氢雾时为止。取下铂皿，冷却、捣碎，保存方法同上。

3. 用硫酸氢钾制取　将试剂二级硫酸氢钾100g置于铂皿中，在250℃下加热30min，此时析出水蒸气，然后将温度提高至（320～340）℃，到停止冒气泡和发生三氧化硫烟时，再继续加热（5～10）min，取下冷却、捣碎、保存方法同上。

（十九）五水硫代硫酸钠的制备和提纯

1. 制备　将硫溶于亚硫酸钠溶液时，则可制得硫代硫酸钠：

$$Na_2SO_3 + S = Na_2S_2O_3$$

在附有回流冷凝器的烧瓶中，将100g$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$溶解在200ml水中的溶液，与14g研细的棒状硫一起煮沸，其硫是预先用乙醇浸润过的（否则它不被溶液浸润，并浮在表面）直到硫不再被溶解时为止。将没有溶解的硫滤出，滤液蒸发到开始结晶时进行冷却，所得结晶在布氏漏斗上抽滤后，再在空气中于二层滤纸间干燥。可得五水硫代硫酸钠60g，产率60%。

2. 提纯　将工业品重结晶，可制得试剂纯的制剂。将700g五水硫代硫酸钠溶解在300ml热水中，过滤后，在不断搅拌下冷却到0℃以制得较细的结晶。析出的盐（450g）在布氏漏斗上抽滤后再在同样条件下重结晶一次。

所得制剂一般为分析纯，从母液中还可以分离出一些纯度较低的制剂。

欲制备用于分析操作上的纯制剂时，可将经重结晶提纯过的盐与乙醇一起研细，倒在滤器上使乙醇流尽并用无水酒精和乙醚洗涤，然后用滤纸盖住制剂并静置一昼夜。最后将制剂装入干燥瓶中。

用此法精制的制剂含有99.99%的$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$，甚至保存5年后，制剂含量仍在99.90%～99.94%间。

（二十）硫酸钠的制备

用碳酸钠中和硫酸可制得分析纯的硫酸钠

$$Na_2CO_3+H_2SO_4=Na_2SO_4+CO_2\uparrow+H_2O$$

在20%的H_2SO_4（分析纯）溶液中一点点地加入干燥的Na_2CO_3（化学纯），直到CO_2停止逸出且溶液变成弱碱性时为止。然后将溶液加热至沸，过滤并将滤液蒸发至出现结晶时，将溶液冷却即析出$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$结晶。

欲制备无水制剂，可将水合物$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$在瓷皿中，在100℃左右加热，直到形成白色疏松粉末时为止。

（二十一）氟化钠的提纯与制备

1. 用碳酸钠与氢氟酸制备　将纯制的碳酸钠置于塑料烧杯中，用少量水湿润，慢慢滴加纯制氢氟酸，在加酸过程中要时时摇动。当溶液停止逸出二氧化碳并呈现碱性时，过滤该溶液。将滤液置铂皿中蒸发，在胶体物失水后，提高温度为200℃以上灼烧成白色粉末，取下冷却，放至塑料瓶中保存。

此法提纯制得的氟化钠中，经光谱定性分析仅检出了痕量的铜、镁和铝。适于用作光谱分析中的载体。

2. 重结晶法　在塑料烧杯中用高纯水溶解试剂氟化钠，制得饱和溶液，过滤除去不溶物，在滤液中加入乙醇析出氟化钠，过滤并用乙醇洗涤，将结晶于烘箱中（105～110）℃下烘干。

（二十二）氟化锂的制备

用氢氧化锂和氢氟酸制备：取（10～15）g金属锂，使之溶解在150ml高纯水中，操作要在塑料烧杯中进行。向生成的氢氧化锂溶液中滴加纯制的氢氟酸并不停地搅拌，使沉淀慢慢析出。反应式为：

$$2Li+2H_2O=2LiOH+H_2\uparrow$$

$$LiOH+HF=LiF\downarrow+H_2O$$

当溶液由碱性变为弱酸性时（用pH试纸试之），停止加酸并放置半小时，在布氏漏斗中抽滤析出的氟化锂，并用除去二氧化碳的高纯水洗涤。将洗过的氟化锂放至铂皿中，于（300～400）℃下在马弗炉中灼烧，冷却后放于塑料瓶中保存。此法制得的氟化锂，经光谱定性分析仅检出微量镁和痕量铝、硅。本产品适于光谱分析中用作载体。

（二十三）氟化铝的制备

用不锈钢剪刀将光谱纯金属铝剪成碎片，用纯制盐酸洗除表面的污物，再用高纯水洗除盐酸。将洗净的金属铝碎片置于铂皿中，然后用塑料滴管慢慢滴加纯制氢氟酸，使铝慢慢溶解。溶解的铝转为胶体物质。在铝全部溶解之后，将温度逐渐升高使溶液蒸发。当胶体物质全部转为白色粉末时，将温度逐渐提高至（250～300）℃，继续加热（2～3）h。取下，放至干燥器中冷却，用玛瑙研钵粉碎研磨均匀后，放至塑料瓶中保存。

此法制得的氟化铝（$AlF_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O$）经光谱分析检出微量镁和痕量铜、锡，其余元素均未检出。此产品用于光谱分析中做载体。

（二十四）碳酸锂的制备

用苯或乙醚将锂表面的汽油洗净（因为锂是放在汽油中贮存的，锂的纯度应为99.99%以上），用钳子夹住锂块以不锈钢剪刀剪成碎片，将切成碎片的锂慢慢投入盛于塑料杯的高纯水中，由于锂溶解时放出大量的热，塑料杯应以冷水冷却。待锂全部溶解之后，在塑料漏斗中以尼龙布过滤，向滤液中通入经过纯化的二氧化碳，直至不再析出沉淀时为止，用布氏漏斗

抽滤析出的碳酸锂，用热高纯水洗涤沉淀。在真空干燥箱中于105℃和（2.67～4.00）kPa［（20～30）mmHg］压力下烘干。将得到的碳酸锂保存于塑料瓶中。

此法制得的碳酸锂经光谱定性分析，仅检出痕量铁、铝、钙、镁等元素，适于光谱分析中用作载体。

（二十五）碳酸钡的制备

将50g分析纯氢氧化钡置于烧杯中，加入高纯水150ml，加热溶解，过滤。向澄清的滤液中通入经过纯化的二氧化碳，直至沉淀不再析出时为止。用布氏漏斗抽滤析出的碳酸钡，用水洗涤几次。将洗涤过的碳酸钡在真空干燥箱中于（110～120）℃和压力为（6.67～8.00）kPa［（50～60）mmHg］下烘干。

本法制得的碳酸钡适用于光谱分析。

（二十六）氧化铟的制备

将50g高纯铟（99.999%）切成小块，用稀硝酸（1+3）洗去表面污物，用高纯水洗除铟表面的酸。将洗净的铟放入500ml的三口圆底烧瓶中，用200ml纯制稀硝酸（1+1）溶解，烧瓶口上装回流冷凝管，加热至（100～120）℃下溶解金属铟，约（4～6）h后即可全部溶解。将溶解液分几次倒入石英皿或铂皿中，在密闭蒸发器中蒸发，蒸发温度为（100～120）℃，大约（1～2）h后蒸干。将皿移至石墨电炉上加热除去二氧化氮，然后转移至马弗炉中于500℃下灼烧1h，将温度提高至750℃时再继续灼烧（1～2）h，冷却后置于磨口试剂瓶中保存。

本品在光谱分析中用作载体。

（二十七）氧化镓的制备

将50g高纯镓（99.999%）用高纯水洗涤几次，再用稀硝酸（1+3）洗涤，最后用高纯水洗除硝酸。将洗净的镓置于500ml三口烧瓶中，加入200ml高纯硝酸（1+1），装上回流冷凝管，在100℃下加热溶解。若溶不尽时，可添加少量浓硝酸加速分解。大约（5～6）h后即可溶尽。将溶液转移至石英或铂皿中，在密闭蒸发器中进行浓缩。当皿内溶液蒸干并成为白色固体时，将皿移至马弗炉中，盖好石英盖，在300℃灼烧1h，750℃灼烧2h。取出冷却后，放入磨口试剂瓶中保存。

本品可作为光谱分析载体。

（二十八）氧化锆的制备

取相当于4g锆的氟锆酸钾（K_2ZrF_6）置于铂皿中，放入5ml纯制氢氟酸和15ml特纯硫酸在石墨板上加热溶解，待溶解完全后继续加热至发生三氧化硫时取下，用三次热水浸出并将浸出液注入1L烧杯中，加入三次水至溶液体积达（600～800）ml，煮沸使溶液澄清（不清时应当过滤），取下，冷却后，向溶液中滴加纯制氨水使锆呈四氢氧化锆形式沉淀出来，用3号玻璃滤器抽滤析出的沉淀，并用三次水洗至无硫酸铵为止。

将洗好的氢氧化锆置于200ml烧杯中，用50ml纯制浓盐酸溶解。溶解液分为两部分各置于1L烧杯中，按下法沉淀：加入400ml16%的苦杏仁酸溶液、120ml纯制浓盐酸、三次水至溶液体积为900ml，在（80～85）℃下加热（20～40）min，此时生成苦杏仁酸锆沉淀。用3号玻璃滤器抽滤沉淀，用2%的苦杏仁酸盐酸（1+9）洗液洗涤沉淀（5～6）次，将洗好的沉淀置于铂皿中，在电炉上烘干、灰化，然后在马弗炉中900℃下灼烧（1～2）h，取出冷却后即得到提纯的氧化锆。

本法提纯制备的氧化锆，用作光谱分析的基体和标准。其中铁、铝、钙、镁等主要常见元素含量均在0.001%以下。

（二十九）五氧化二钽的提纯与制备

1．试剂

硫酸：相对密度 1.84，特纯；

氢氟酸：40%，提纯；

盐酸：38%，提纯；

环己酮：化学纯品经蒸馏提纯一次；

硫酸铵：分析纯；

丹宁溶液：20%丹宁盐酸（1+9）溶液。分析纯丹宁溶于 1+9 盐酸后，经双硫腙、铜试剂和 8-羟基喹啉混合物用三氯甲烷萃取；

丹宁盐酸洗液：0.5%丹宁盐酸（3%）溶液。

2．操作手续

将 6g 氢氧化钽置于 200ml 铂皿中，加入 15ml 氢氟酸，当大部分溶解之后，加入 34ml 浓硫酸，在石墨板上加热至冒白烟时取下，冷却后小心加入 6ml 氢氟酸和 60ml 三次水，混匀后将皿内酸溶液倒入容积为 1L 的聚乙烯瓶中，用水洗铂皿并将洗涤水倾入该瓶中，用三次水将瓶内溶液稀释至 300ml，加入 200ml 环己酮和 10g 硫酸铵，盖好瓶盖并振荡（1～2）min，分层后用聚乙烯吸管将上层有机相吸出放入另一聚乙烯瓶中。水相继续加入 150ml 环己酮萃取，第三次萃取加入 100ml 环己酮。将三次萃取的有机相合并，用氢氟酸（$0.4mol \cdot L^{-1}$）-硫酸（$2mol \cdot L^{-1}$）混酸萃取两次，每次加入 200ml 混酸，用以洗除有机相带出的杂质。洗好的有机相注入 1L 分液漏斗中，加入 100ml 硼酸（提纯）-草酸铵（提纯）饱和溶液反萃取，振荡（1～2）min，分层后水相放入洗净的烧杯中，有机相同上法以 100ml 硼酸-草酸铵溶液反萃取两次，将水相合并。

将 100ml 反萃取液置于 1L 烧杯中，加入 100ml 提纯浓盐酸和 700ml 高纯水，加热至沸，趁热加入 100ml 丹宁溶液，煮沸 5min，并于水浴上保温 1h，取下放置过夜。在布氏漏斗中用中等密度的定量滤纸抽滤析出的沉淀，用丹宁洗液洗涤（5～6）次。将沉淀放至白金皿中烘干并灰化，放到马弗炉中于 900℃下灼烧（1～2）h。即得到高纯五氧化二钽。

本法制备的五氧化二钽可以作为光谱分析标准物。经光谱定性分析仅检出微量镁、铅、锡、硅、铋和痕量的钛。原料氢氧化钽经化学分析含有<0.7%铌、0.023%铁、0.0038%钛、0.03%二氧化硅和 0.005%三氧化钨。

（三十）氧化锡的制备

用石英蒸馏器将无水四氯化锡(分析纯)进行蒸馏，弃去低于 110℃的前段馏出液，收集高于 110℃的中段馏出液(为原料的 70%)。在中段馏出液中加氨水至溶液呈微碱性，再加入大量的高纯水，搅拌后澄清之，倾出清液。沉淀用倾泻法洗涤至无氯离子。将沉淀放在水浴上加热烘干，将它移至石英皿中，在马弗炉中 800℃～900℃灼烧至恒重。取出冷却后即得成品。

本方法提纯制备的氧化锡经光谱定性分析仅检出微量的硅、镁、铜和痕量的铝，适用于作为光谱分析标准。

（三十一）氧化锑的制备

在 500ml 烧杯中加入 15g 分析纯三氯化锑，加入 30ml 高纯盐酸（1+1），在搅拌下使之溶解。用洗净的玻璃滤器抽滤溶液，然后用高纯水将滤液稀释至 400ml，此时析出一氯氧化锑白色沉淀。澄清后，将清液倾出，用倾泻法洗涤沉淀数次。在洗好的沉淀中，加入 1+25 的高纯氨水 200ml，煮沸（5～10）min，此时一氯氧化锑转变为三氧化三锑，生成的三氧化二锑

颗粒较一氯氧化锑小得多。倾出清液，用同样方法再用稀氨水煮沸几次。当全部转化为三氧化二锑时，在倾出液中就不再含有氯离子（用硝酸银检查洗涤液）。再用高纯水倾泻法洗涤沉淀几次。在布氏漏斗中抽滤，用高纯水洗涤至洗液为中性时为止。洗好的沉淀于烘箱中在150℃下烘干至恒重。取出冷却后即得成品。

本方法提纯制备的三氧化二锑经光谱定性分析仅检出痕量的硅、镁。适于作光谱分析标准。

（三十二）氯化银的制备

溶解分析纯硝酸银 50g 于 500ml 高纯水中，过滤除去水不溶物。往滤液中慢慢加入 10％的氯化铵（化学纯）溶液，在滴加氯化铵溶液时要不停地搅拌，使沉淀慢慢析出。当滴加氯化铵不再析出沉淀时，停止加氯化铵，并将其置于暗处使沉淀沉降。倾出清液并加入高纯水（300～400）ml，搅拌、沉降后倾出清液，如此反复倾洗几次。然后加入高纯水 300ml，搅拌之，并在布氏漏斗中过滤，用高纯水洗涤几次，将结晶于真空干燥箱中在（70～80）℃和（6.67～8.00）kPa［（50～60）mmHg］压力下烘干。将产品置于用黑纸包装的试剂瓶中保存。在操作过程中注意避光，以免生成的氯化银感光变色。

本方法合成的氯化银用作光谱分析中的载体。本产品经光谱定性分析仅检出了微量的铜、金和痕量的硅、镁、铁、铝等元素。

二、有机试剂的提纯与制备

（一）甲醇的提纯[1]

将 300ml 化学纯甲醇置于洗净的 500ml 石英蒸馏瓶中，加入（10～15）粒粒状氢氧化钠（优级纯），在水浴上（75～80）℃下进行蒸馏，弃去开始蒸出的（20～30）ml，收集中段馏分（沸点为（65±1）℃的），用洗净石英瓶盛装，直至蒸馏瓶内残液大约为 50ml 时结束蒸馏。同法对中段馏分进行再次蒸馏。取第二次蒸馏中段馏分作为成品。

（二）乙醇的提纯

1. 无水乙醇的制取

（1）取 600ml 95％的乙醇，置于 1L 圆底烧瓶中，加入（80～100）g 氧化钙，在水浴上加热回流（3～4）h，然后将乙醇蒸出，收集在洗净干燥好的瓶中，贮瓶必须有磨口塞。

（2）取 1 L95％的乙醇，置于 2L 的圆底烧瓶中，加入 250g 新经过灼烧的并于干燥器中冷却放置的氧化钙 250g，盖上带有氯化钙干燥管的塞子，放置 2d，并且要经常摇动。然后在水浴上回流（30～40）min 除去醛。并用分馏柱蒸馏。

（3）在 1 L95％的乙醇中加入（200～250）g 无水硫酸铜粉末，回流 6h，放置过夜（必须盖上带有氯化钙干燥管的塞子），然后进行蒸馏。

2. 绝对乙醇（99.95％）的制取

（1）在 1 L 圆底烧瓶中加入（2～3）g 洗净、干燥的镁条，瓶口装一水冷冷凝管，冷凝管上端插有氯化钙干燥管。往瓶中加入 35ml 99.5％的乙醇，在沸水浴上加热至微沸之后移去热源，立即加入数粒碘（不要摇动!），不久碘粒周围发生反应并逐渐扩展到全面，最后反应相当激烈。若加入碘粒之后不起反应，可再加入数粒碘，有时还得加热促使其反应。反应结束后，将 500ml 99.5％的乙醇加到瓶中，加热回流 1h，然后将乙醇蒸出，收集瓶要用磨口塞盖好。

---

[1] 本法提纯的甲醇可用于在微量硼的测定中，分离硫酸钙（不溶）和硫酸镁（可溶）。

(2) 在1 L99.5%的乙醇中加入25g金属钙，盖好带氯化钙干燥管的盖子放置2d，然后将乙醇注入蒸馏瓶中蒸馏之。

3. 无硼乙醇的提纯：参看甲醇提纯法。

（三）正丁醇和异戊醇的提纯

将分析纯正丁醇或异戊醇，用无水碳酸钾或无水硫酸钙干燥，滤出干燥剂并注入硬质玻璃蒸馏器，在油浴上进行常压蒸馏。蒸馏正丁醇时收集（116.5～118）℃的馏分；蒸馏异戊醇时收集（130～131）℃的馏分。

在进行减压蒸馏时，在蒸馏器和真空泵之间接上一高效吸附柱和洗气装置，防止机械泵油被醇蒸汽所污染。

欲制取纯度较高的异戊醇，可按下述方法处理。蒸馏之前用EDTA二钠溶液萃取除去金属杂质，用高锰酸钾稀溶液萃取洗除醛等还原物质、再用稀的亚铁溶液和二次水洗除高锰酸钾，经氧化钙或碳酸钾干燥后进行蒸馏。

（四）甲酸（蚁酸）的提纯

将500ml分析纯甲酸，置于1L蒸馏瓶中，常压下蒸馏。用甘油浴加热，以调压变压器调节油浴温度不超过110℃。弃去前段馏出液50ml，收集中段馏出液(350～400)ml，作为成品。

（五）乙酸（醋酸）的提纯

1. 冻结法

将浓乙酸冷却至0℃，并在4℃下保持几小时，倾出母液，再加入原料乙酸同法操作。将得到的结晶在水浴上微热令其溶解，然后再冷却至0℃，此时结晶再次析出。如果要求较高时，同法结晶（3～4）次，即得到纯度很高的冰醋酸。

2. 蒸馏法

在蒸馏瓶中加入待提纯的乙酸至容积的2/3处，在甘油浴上于130℃下加热。蒸馏仪器要有磨口连接。弃去前段馏分10%，取中段馏分70%作为成品。蒸馏速度控制在（1～2）滴/s。成品保存于有磨口塞瓶中。

如果原料中含有还原物质醇和醛，则在蒸馏前用粉末状重铬酸钾处理。在烧瓶中加入500g乙酸，将烧瓶置于（40～50）℃水浴上加热，慢慢将研细的（3～5）g重铬酸钾投入烧瓶中，并不断摇荡。若反应过程中温度上升很快，则停止加入重铬酸钾，待温度下降后再继续加重铬酸钾。待重铬酸钾加完后，静置，澄清后，倾出清液蒸馏之。

若欲除去乙酸中其他酸，可在蒸馏瓶中加入几克乙酸钠蒸馏之。为了防止爆沸，在蒸馏瓶中加入一些玻璃碎片。

（六）乙醚的提纯

1. 乙醚中过氧化物的检出　在小试管中取1ml乙醚试样，加入等体积的2%的碘化钾水溶液和（1～2）滴稀盐酸。振荡试管，若醚层呈现黄色或褐色，则证明有过氧化物存在：

$$4KI+(C_2H_5)_2O_3+2H_2O=2I_2+(C_2H_5)_2O+4KOH$$

析出的碘在醚中的溶解度大，故振荡后碘被提取至醚层，并将其染为黄色。为了便于观察，可加入（10～15）滴0.5%的淀粉溶液，此时因碘的存在，使淀粉呈蓝色。

2. 过氧化物的除去　乙醚中存在的过氧化物可用还原剂（亚铁盐、盐酸羟胺或亚硫酸钠溶液）洗涤除去。将500ml乙醚置于1L的分液漏斗中，加入15ml 20%的硫酸亚铁铵溶液，5ml（1+1）硫酸，80ml二次水。摇动数分钟，分层后弃去水相。同法再洗（1～2）次，直到过氧化物除尽为止（用碘化钾检查时，5min不出现黄色或蓝色时即认为除尽）。最后用二次水，每

次用量 100ml 洗涤两次。将洗好的乙醚放至带磨口塞的棕色瓶中，加入无水氯化钙干燥，放置过夜，然后滤出乙醚，并进行蒸馏。

3. 蒸馏提纯　将上述处理得到的乙醚注入洗净、干燥之蒸馏瓶中，加入乙醚至蒸馏瓶容积的 2/3 处，连接好仪器（使用磨口连接仪器，不能漏气），在 45℃的水浴上加热。收集沸程为(33.5～34.5)℃的馏出液，装于棕色带磨口塞子的瓶中。蒸馏瓶中的残液量不得少于 60ml。如果纯度不够，可以重新蒸馏一次。

4. 特殊用途乙醚的制备

(1) 无水乙醚的制取　将经过氯化钙干燥并蒸馏过的乙醚置于棕色小口试剂瓶中，加入少量纯度较高的钠片，瓶口用插有毛细管的软木塞盖好，放置过夜。如果加入的钠已作用完，则需再加入少量钠直到不再产生气泡时为止。将无水乙醚滤入另一干燥洁净的瓶中备用。

为了检查脱水的完全程度，将 10ml 处理过的乙醚置于 25ml 带磨口塞的比色管中，加入 0.5g 无水硫酸铜，硫酸铜不应该呈现绿色或蓝色。

(2) 纯度较高的乙醚的制备　用 0.5%的高锰酸钾溶液与乙醚共摇，使其中的醛氧化为酸，破坏不饱和化合物，然后用 5%的氢氧化钠水溶液洗除生成的酸，再用二次水洗涤几次，干燥后进行两次蒸馏。

5. 注意事项

(1) 严禁明火加热，室内外不得出现任何火源；

(2) 工作室应保持良好的通风；

(3) 水浴温度不得超过45℃，如室温超过25℃时，接受器必须用冰冷却至(5～10)℃以下；

(4) 蒸馏过程中随时调整蒸馏瓶位置，使醚液面高出水浴面，防止乙醚过热而产生的瀑沸。添加乙醚之前要切断水浴电源，稍冷之后再加料；

(5) 成品应当贮存于棕色带磨口塞的瓶中，尽量装满，盖好瓶盖以减少过氧化物的生成。试剂保存于阴凉避光处或冰箱中。

（七）异丙醚的合成与提纯

1. 异丙醚的合成

(1) 所需的试剂和仪器

异丙醇：化学纯；	氢氧化钠：分析纯；
硫酸：化学纯；	盐酸：分析纯，1+1；
无水氯化钙：化学纯；	硫酸银：化学纯；
	硬质玻璃蒸馏仪：见图 2-6。

(2) 操作手续　将 100ml 异丙醇置于蒸馏瓶 2 中，加入 5g 硫酸银，小心地加入 100ml70%硫酸，摇荡数分钟，按图 2-4 装好仪器。接通电源使油浴温度达 120℃，通过加料漏斗每 5～10min 加入 (10～15) ml 异丙醇。生成的异丙醚蒸出经冷凝后流入接受瓶中。

(3) 粗醚的精制　上述合成得到的粗异丙醚中，含有水、异丙醇、亚硫酸等杂质，可用下述方法提纯。将 300ml 粗醚置于 500ml 圆底烧瓶中，加入 60ml(1+1)盐酸，在烧瓶口上插入一根冷凝管，于 80℃的水浴上加热回流半小时，以除去醇类、金属杂质等。然后将混合物加热至沸，冷却后分出下层水溶液。在醚中加入 100ml 二次水，同法继续加热回流半小时，弃去水层，再重复操作一次(或几次，直至水相变清为止)。冷却后将醚层分出，置于 500ml 带支管蒸馏瓶中，加入 10～15 粒氢氧化钠，在 80℃水浴上进行蒸馏。弃去开始蒸出的馏分(10～15)ml，收集(67～69)℃的馏出液。必要时，重蒸馏一次。蒸馏过程中需要经常调整仪器的位置，使醚液面高于水浴面，直到蒸馏瓶内残液大约为 80ml 时，停止蒸馏，千万不要蒸干！

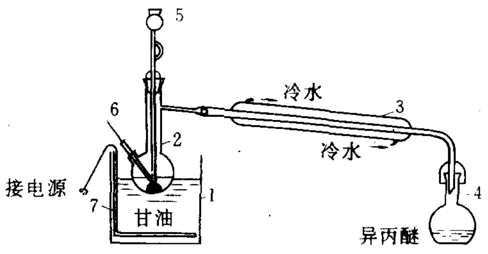


图 2-6　异丙醚合成装置图

1－恒温油浴（内装甘油）；2—1L 支管蒸馏瓶；3—冷凝器；4—500ml 平底烧瓶；5—加料漏斗；6—温度计（0—150℃）；7—油浴加热圈（铜管内装镍铬丝，用瓷环将铜管与炉丝隔开）

2．异丙醚的提纯　异丙醚在放置过程中自动氧化生成不易挥发的过氧化物，蒸馏时残存于蒸馏瓶中。过氧化物浓度达一定值时自动猛烈爆炸，因此蒸馏前应当将其除掉，蒸馏时切不可将残液留得过少，以免爆炸事故的发生。

市售异丙醚中，时常含有醇、醛等杂质。高纯分析中，应当除去它们。提纯方法如下。

（1）过氧化物的检查和除去：参看乙醚过氧化物的检查和处理。

（2）操作手续：在一般带磨口的硬质玻璃蒸馏器中进行蒸馏。加入的异丙醚不得超过蒸馏瓶容积的 2/3。在温度为 80℃的水浴上加热，使醚液面高出水浴面。蒸馏速度为（2～3）滴/s。弃去开始蒸出的馏分（15～20）ml，收集沸程为（67～69）℃的馏出液。蒸馏两次。详细操作和安全注意事项参看乙醚的提纯。

（八）丙酮的提纯

丙酮可以在普通蒸馏仪器中蒸馏提纯。蒸馏瓶用电水浴加热，浴温控制在（65～70）℃，收集沸程为（55～57）℃的馏出物。

为了除去还原性有机杂质，将丙酮与高锰酸钾稀溶液一起回流加热，直至加入的高锰酸钾紫色不消失为止，然后将丙酮蒸出。用无水碳酸钾（或无水氯化钙、无水硫酸钙）脱水后，重蒸馏一次。

为了制取无水丙酮，可以先用灼烧过的碳酸钾、无水氯化钙或五氧化二磷脱水，然后蒸馏。蒸馏仪器和接受瓶应事先洗净、烘干。

（九）甲异丁酮和环己酮的提纯

甲异丁酮与环己酮均可以用蒸馏法提纯，多用减压蒸馏法。其压力和沸点的关系如下表所示。

环己酮和甲异丁酮的沸点同压力的关系

压力 P/kPa		0.1	1.3	5.3	13.3	53.3	101.3
沸点	环己酮 t/℃	1.4	38.7	67.8	90.4	132.5	155.6
	甲异丁酮 t/℃	—	13.0	—	58.2	—	115.5

常压蒸馏时需要采用油浴，在压力为(2.67～6.67)kPa(20～50mmHg)下减压蒸馏时用水浴足以满足要求。减压蒸馏所需用的仪器和注意事项参看“正丁醇和异戊醇提纯”中所述。

欲制取无水环己酮，可用无水硫酸钠干燥后进行蒸馏。

（十）乙酸乙酯的提纯

乙酸乙酯（95%～98%的试剂）中，含有少量游离酸（乙酸）、乙醇和水等杂质，可用下述方法加以提纯。

（1）加入无水碳酸钾脱水，放置几天，过滤后蒸馏，弃去开始蒸出的馏分，收集沸程为 76—77℃的馏出液。

（2）用 5%的碳酸钠水溶液洗涤后再按“（1）”处理。

（3）在 1L 乙酸乙酯中加入 100ml 乙酸酐和十余滴浓硫酸，在水浴上加热回流数小时，分馏出乙酸乙酯后，按“（1）”处理。

（十一）乙酸正丁酯的提纯

将乙酸正丁酯用饱和碳酸氢钠溶液萃取洗涤两次，再用无水硫酸镁干燥之后进行减压蒸馏。

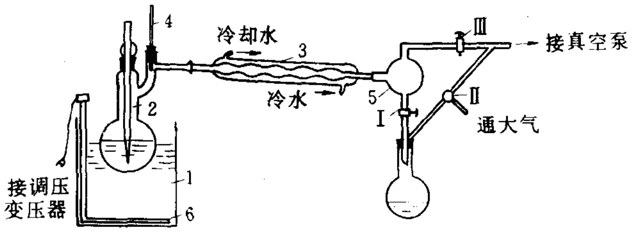


图 2-7　乙酸正丁酯减压蒸馏装置图

1—恒温水浴；2—克莱生烧瓶，容积 1L；3—球形冷凝管；4—温度计（0—100℃）；5—特制接受器；6—加热圈；Ⅰ、Ⅲ—两通活塞；Ⅱ—三通活塞

将 500ml 洗涤干燥过的乙酸正丁酯置于烧瓶 2 中，按图 2-7 所示将仪器装好，开动机械真空泵抽出系统内的空气（此时活塞Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ接通），当系统内的压力达到 8.00kPa（60mmHg）时，接通恒温水浴电源，并使其温度控制在（60～70）℃，蒸馏速度为 1～2 滴/s，待蒸出 50～60ml 后，关闭活塞Ⅰ，使Ⅱ接通大气，卸下接受瓶，弃去开始馏出液，装好并接通Ⅱ，使接受瓶与泵接通，继续蒸馏，当蒸出（300～350）ml 时，停止蒸馏。蒸出的这个中段馏分即为成品。注意水浴温度应随真空度的大小而定，以蒸馏速度为准。

（十二）磷酸三丁酯的提纯

试剂磷酸三丁酯中的有机杂质，可用浓氢氧化钠溶液洗涤，再经无水硫酸钠脱水，然后以减压蒸馏等方法加以提纯。磷酸三丁酯的沸点和压力间的关系如下：

压力 P/kPa	8.0×10^{-1}	2.0	101.3
沸点 t/℃	128～140	160～162	289（分解）

也可以用水蒸气蒸馏法加以提纯。在磷酸三丁酯中加入少量 0.4% 的氢氧化钠水溶液，用水蒸气蒸馏。将蒸馏出来的磷酸三丁酯用水洗至中性，即得纯品。

减压蒸馏装置如图 2-7 所示，加热使用砂浴或硫酸浴；冷凝管中不通水，即采用空气冷凝。除去低沸点馏分（30～50）ml。在压力为（2.67～6.67）kPa（20～50mmHg）下蒸馏，沸点约为 180℃左右，蒸馏速度为（1～2）滴/s。

（十三）三氯甲烷（氯仿）的提纯

1. 光气和游离氯的检查

（1）光气的检查　取 2 滴氯仿置于试管中，加入 3 滴蒸馏水和 1 滴 0.2mol·L^{-1}的硝酸银溶液。若出现白色混浊，说明光气存在。

（2）游离氯的检查　在一小试管中，加入 3 滴待检查的氯仿，加入 5 滴蒸馏水，1 滴 0.5mol·L^{-1}的碘化钾溶液。经振荡后，若氯仿因析出的碘而染成玫瑰色或紫色，说明氯仿中有游离氯存在。

因为光气分解后生成氯气和一氧化碳，通过检查氯气的有无也能间接证明光气是否存在。

2. 氯仿的提纯　氯仿中的杂质有水、乙醇、光气和游离氯。在分液漏斗中用酚钠溶液洗除光气，用纯水洗除乙醇。也可以用浓硫酸洗涤。在分液漏斗中用二次水（每次用量为氯仿体积的一半）洗涤（5～6）次，或用浓硫酸（每次用量为氯仿体积的 5%）洗涤二次。然后，用稀氢氧化钠溶液洗二次，二次水洗 2—3 次，经无水氯化钙（或无水硫酸钠、碳酸钾等）脱水后，进行蒸馏。蒸馏速度为（1～2）滴/s，收集沸程为（60～62）℃的馏出液，保存于棕色、带磨口塞的试剂瓶中。

（十四）四氯化碳的提纯

试剂四氯化碳可用直接蒸馏，或者在盐酸羟胺洗涤之后蒸馏的方法提纯，收集沸程为（76～77.5）℃的馏出物。

试剂四氯化碳中含有少量的二硫化碳，可用下述方法除去。

（1）在圆底烧瓶中加入四氯化碳和氢氧化钾醇溶液（体积为四氯化碳的1.5倍），在（50～60）℃下共摇半小时，然后移入分液漏斗中，用水洗涤除醇，再用少量浓硫酸洗至酸层无色时为止，最后用二次水洗涤二次，经无水氯化钙干燥后蒸馏。氢氧化钾溶液的配制：将60g氢氧化钾溶于100ml乙醇和60ml水的混合液中。

（2）在四氯化碳中加入5%的氢氧化钠溶液回流（1～2）h，水洗、干燥后蒸馏之。

（3）加入金属汞回流除硫化物，用稀氢氧化钠溶液洗和水洗后，干燥并蒸馏。

（十五）二氯乙烷的提纯

（1）试剂二氯乙烷中含有少量的酸性杂质、水分、氯化物等，可依次在分液漏斗中用5%的氢氧化钠溶液（或稀氢氧化钾溶液）、二次水洗涤之后，用无水氯化钙或五氧化二磷脱水，然后蒸馏。

（2）将500ml二氯乙烷置于1L分液漏斗中，加入100ml二次水，摇动几分钟，静置分层后，弃去水层。加入50ml浓硫酸，摇荡，静置分层后，弃去酸层，重复这个硫酸洗涤的操作，直至酸层不变色或仅显淡黄色为止。酸洗过的二氯乙烷再依次用二次水、5%的氢氧化钠、二次水在分液漏斗中振荡洗涤，然后用0.5%盐酸羟胺溶液洗涤（1～2）次，每次用50ml，最后再用二次水洗（2～3）次。加入固体无水氯化钙脱水，加入氯化钙的量须使有机相澄清时为止。过滤后蒸馏，弃去开始蒸出的馏分，收集中段馏分作为成品。

（十六）石油醚的提纯

石油醚中的杂质大部分为芳香烃和不饱和烃。可用下述方法除去：将市售石油醚（60～90℃）倒入10L下口瓶中，加入硫酸（相当于石油醚体积的1/4到1/5），以除去溶于硫酸的烃类。随时振荡之，保持数天后，放出硫酸，用水洗涤两次，再加入10%氢氧化钠溶液和4%高锰酸钾溶液（相当于石油醚体积的1/5），以除去能溶于氢氧化钠溶液的烃类，及氧化还原性物质。并随时振荡之。保持数天后，再放出氢氧化钠、高锰酸钾溶液，如发现高锰酸钾被全部还原，则再继续用氢氧化钠、高锰酸钾溶液重复处理一次，并用水洗涤数次，放尽水层，以无水氯化钙干燥之，在水浴上蒸馏出石油醚，收集60℃以上的馏分保存备用。

（十七）苯的提纯

试剂苯含有少量的水、噻吩、羟基化合物和不饱和化合物等杂质。噻吩的沸点为84℃，在苯的蒸馏以及用冻结法结晶时均不能将其除去。用下述方法检查噻吩的存在：取3ml苯，加入靛红的浓硫酸溶液10ml（溶有10mg靛红），共同振荡几分钟后，酸层出现蓝绿色则证明噻吩的存在。除去噻吩的最简单方法是与浓硫酸一起摇荡，因为噻吩容易被磺化生成噻吩磺酸而溶于硫酸之中。

在1L的分液漏斗中，加入600ml苯和90ml浓硫酸，摇动数分钟并静置，分层后弃去下部酸，同法重复操作2～3次后用水洗二次，再用（50～60）ml碳酸钠溶液（10%）洗涤一次，二次水洗2次，加入氯化钙干燥数小时，过滤并在水浴上进行蒸馏，收集沸点为（80～81）℃的中段馏出液，保存于带磨口塞的试剂瓶中。

（十八）甲苯的提纯

甲苯内所含的主要杂质为甲基噻吩。甲苯的提纯方法和苯相似，但因甲苯比苯容易磺化，

为减少损耗，分离甲基噻吩磺酸时应在较低的温度下进行。在油浴上分馏时收集（110～120）℃的馏分。

（十九）二硫化碳的提纯

试剂二硫化碳可依次与0.5%高锰酸钾溶液、金属汞、0.25%硫酸溶液在分液漏斗中摇荡处理，然后经无水氯化钙干燥后，于水浴上蒸馏之，收集（46～47）℃范围内的馏出液作为成品。

（二十）正己烷的提纯

在常温下，不饱和化合物与浓硫酸起作用，芳香烃也可以用浓硫酸处理除去，苯可以用酸混合液（重量比为：浓硫酸＋浓硝酸＋水＝58＋25＋17的混合液）处理除去，芳香族杂质也可以用硅胶吸附除去。酚类等酸性杂质，可用碱液洗涤除去。

将600ml化学纯石油醚置于1L短颈分液漏斗中，按图2-8所示装好分馏柱并联结好冷凝管并在油浴上加热，油浴温度控制为（80～90）℃，收集沸程为（66～70）℃的馏出液，即为粗制正己烷。

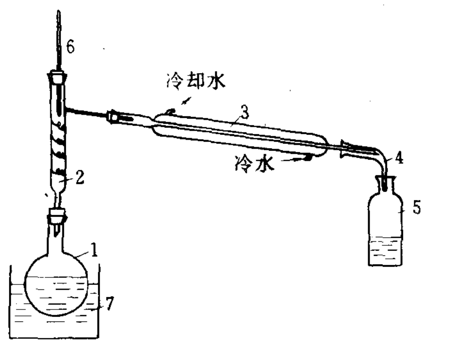


图2-8　提取正己烷的分馏装置图

1—1L短颈烧瓶；2—分馏柱；3—冷凝器；4—牛角管；5—接受瓶；6—温度计（0—100℃）；7—油浴或水浴

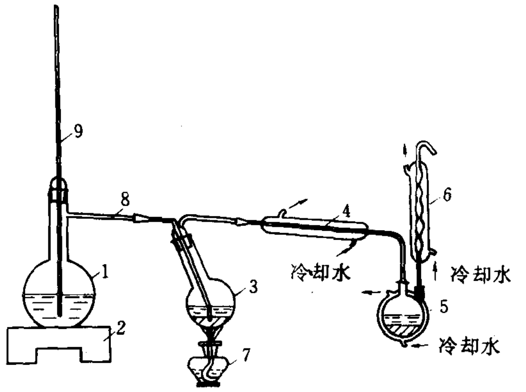


图2-9　8-羟基喹啉水蒸气蒸馏装置图

1—1L平底烧瓶；2—石墨电炉；3—250ml圆底烧瓶；4、6—水冷凝管；5—球形接受瓶；7—酒精灯；8—水蒸气导管；9—安全管

将（600～700）ml粗正己烷置于1L的分馏漏斗中，加入50ml浓硫酸共摇，静置分层后，弃去黄色酸层，重复处理3～4次。然后依次用0.02mol·L^{-1}高锰酸钾的10%硫酸溶液、0.03mol·L^{-1}高锰酸钾的10%氢氧化钠溶液处理，最后用二次水洗涤数次。加入无水氯化钙脱水，放置过夜，过滤。按上法重新分馏一次，收集（67～69）℃馏出液作为成品，必要时，通过活性炭吸附柱后再分馏一次。折光率为1.3804（25℃）。

（二十一）8-羟基喹啉的提纯

水蒸汽蒸馏法：将（5.0—10.0）g分析纯8-羟基喹啉置于250ml蒸馏烧瓶3中。在容积为1L的平底烧瓶1中，加入三次水至不超过该瓶容积的2/3作为水蒸气发生器。按图2-9所示连接好仪器的各部分。用石墨电炉2加热平底烧瓶1，产生的水蒸气由导管8导入烧瓶3，此时8-羟基喹啉随水蒸气一起挥发，经冷凝管4进入接受瓶5中而被冷凝为固体。蒸馏进行至烧瓶3中剩下少量8-羟基喹啉时，将1和3间联结处（磨口）拆开，切断电源，卸下接受瓶5，用抽滤法将其中的8-羟基喹啉滤出，以三次水洗数次，于烘箱中（30～40）℃下烘干后即为成品。

注意事项：

（1）蒸汽发生器的安全管9必须有一定长度，使瓶内压力平稳；

（2）为防止水蒸气在烧瓶3中冷凝，烧瓶3下面要用酒精灯加热；

（3）冷凝管内冷却水的流速控制到8-羟基喹啉蒸气在冷凝管4中大部分冷凝而又不致固化的程度；

（4）为了使通过冷凝管而没有被液化的少量蒸汽冷凝，采用特制接受器5。此接受器有一球形冷凝管，接受瓶瓶壁为双层，中间可通冷却水。接受器内预先要加入几十毫升三次水；

（5）停止蒸馏时，要先将烧瓶1和3自磨口处分开，防止3中溶液倒吸入1中；

（6）烧瓶3需要倾斜放置，防止溅出的液滴被蒸汽带到接受瓶中。

（二十二）双硫腙的提纯与合成

1. 双硫腙的合成　本法适用于合成少量的纯度较高的双硫腙。

（1）试剂：苯肼、二硫化碳、无水乙醇、乙醚、无水甲醇、硫酸（$0.5mol \cdot L^{-1}$）、氢氧化钠（10%）溶液、氢氧化钾（有机溶剂事先用蒸馏法提纯，无机试剂采用二级品）。

（2）合成步骤：将1.3g新蒸馏的苯肼置于小试管中，加入6ml乙醚溶解，剧烈摇动试管，往试管中逐滴加入0.52ml二硫化碳，试管口立即用带有微冷凝管的塞子盖住，继续摇动5min，滤出白色沉淀，用乙醚洗涤。将所得的白色物质置于另一试管中，不断搅拌下在水浴上加热，此时有硫化氢析出，试管内的物质变为黄色且有粘性。当刚出现氨味时，将试管冷却（先用水冷，再用冰冷）。往试管中加入1.5ml乙醇，在搅拌下稍微加热，此时由油状物中析出结晶，用酒精洗涤。将洗好的结晶物质，溶于氢氧化钾醇溶液中（0.6g氢氧化钾溶于6ml甲醇），将溶液移入带有冷凝管的容器中加热回流，溶液在短时间内就沸腾，然后用冰冷却带色的溶液，将溶液倾入另一试管中，不断摇动下用$0.5mol \cdot L^{-1}$的硫酸酸化（以刚果红为指示剂），约需硫酸溶液7ml。滤出深蓝色沉淀，溶于5%的氢氧化钠溶液中，过滤后再次用硫酸酸化并析出沉淀，滤出沉淀，用水洗至无硫酸根离子为止。将沉淀置于烘箱中40℃下干燥。所得的双硫腙欲进一步纯化时，可用乙醚萃取。产量约0.3g。

2. 双硫腙的提纯

（1）将少量双硫腙溶于氯仿或四氯化碳中，加入2%的氨水萃取，使双硫腙转至水相中，再用纯氯仿或四氯化碳萃取几次，弃去有机相，一直洗涤至有机相中不再呈现红色时为止。然后加入提纯氯仿或四氯化碳，用纯制盐酸酸化至弱酸性，将双硫腙萃取至有机相中，接着再用纯水洗涤有机相两次。经提纯的双硫腙的氯仿或四氯化碳溶液保存于棕色瓶中，放在暗处备用。双硫腙的氯仿溶液一周内适用。或者将此双硫腙溶液浓缩、结晶制取固体物备用。

（2）可用抗坏血酸除去双硫腙中的氧化物。

（3）双硫腙还可以用乙醚萃取纯化。

（二十三）铜试剂的提纯

铜试剂又名二乙氨基二硫代甲酸钠。

铜试剂可以用氯仿萃取其水溶液后重结晶法提纯。也可以用合成法制得少量纯品：取3ml重蒸馏的二乙胺，加入10ml氯仿混合，加入1ml重蒸馏的二硫化碳，然后进行减压浓缩，过滤出白色结晶，用少量酒精洗涤，干燥后即得纯品。

（二十四）铜铁试剂的提纯

在（250～300）ml烧瓶中，加入120ml水并将其加热至60℃。搅拌下加入30g粉末状的铜铁试剂并使之全部溶解。加入2g粉末状试剂活性炭，搅拌（10～15）min，用灼烧过的布

氏漏斗过滤。将滤液冷却至（15～20）℃，再冷至0℃并放置过夜。

用4号玻璃滤器抽滤析出的结晶，用10ml乙醇洗涤，再用10ml乙醚洗涤，然后在空气中干燥。产率约为75%。

（二十五）乙二胺四乙酸二钠（EDTA）的提纯

（1）首先制备乙二胺四乙酸二钠的室温下的饱和水溶液（100ml水中大约可溶解10g）。往此溶液中慢慢地加入乙醇至出现沉淀，过滤析出的沉淀并弃去。往滤液中加入等体积乙醇并真空过滤析出的沉淀，用丙酮洗涤几次，然后再用乙醚洗涤2—3次，将沉淀放在一张滤纸上室温下于空气中干燥。

（2）将乙二胺四乙酸二钠溶于少量热水中，用热滤漏斗过滤。向冷滤液中加入等体积甲醇和丙酮的混合物（1+1），并搅拌之。在布氏漏斗上抽滤析出的沉淀，并用甲醇和丙酮混合物洗涤。将沉淀放在表皿或平底瓷皿上，摊成一薄层，在（80～90）℃下干燥。如果干燥温度较高，试剂常常分解，因而得到的产品不白，此时必须重新进行提纯。

（二十六）二甲酚橙指示剂的提纯

市售二甲酚橙指示剂，有时缩合得不够好，故影响络合滴定终点的观察。将其配制成所需浓度的二甲酚橙溶液，加盐酸使其中杂质沉淀完全，再过滤，除去杂质，将滤液滤入干净的瓶中保存备用。

（二十七）钙黄绿素的制备

取6.64g荧光素溶于20ml 60%乙醇和6ml 30%氢氧化钠溶液中，再取10.6g亚胺基二乙酸溶于12ml 30%氢氧化钠溶液和15ml水中。将两溶液混合均匀，逐滴加入7.5ml 30%甲醛溶液，在水浴上（70℃～80℃）温热3h，并时刻搅拌，检查反应是否完成（即用一滴溶液加氢氧化钾溶液与钙离子，看是否能产生荧光，再用EDTA二钠溶液滴定看荧光是否能消失）。稀释体积至1L，加入氯化钠150g，使之溶解，用盐酸酸化至pH=2～3，沉淀析出，冷却、过滤，用水洗涤沉淀数次，将沉淀再溶解于乙酸钠溶液中，过滤（以除去多余的荧光素），用水洗涤数次，滤液重复用盐酸酸化至pH=2～3沉淀析出，冷却，抽气过滤，再用水洗涤数次，抽滤干。此时沉淀呈糊状，不易干燥，故再将沉淀溶于150ml无水乙醇中，温热，此时沉淀呈粉状。冷却、过滤，用无水乙醇洗涤数次，抽滤干，得黄色粉末，在空气中干燥，装入棕色瓶内，保存备用。

（二十八）罗丹明B的提纯

将商品粉红色染料（罗丹明B）研细，加入稀氨水（约1%～2%）浸渍数小时，然后用苯振荡抽提数次，合并数次抽提液，再与稀盐酸一起振荡，罗丹明B即溶于盐酸而成盐酸盐，把酸抽出液用冷水冷却，罗丹明B的盐酸盐即结晶析出，吸滤干燥。

（二十九）双十二烷基二硫代乙二酰胺（DDO）的制备

取46g十二胺溶于50ml无水乙醇中，另取15g二硫代乙二酰胺于500ml三角瓶中，并加100ml无水乙醇。然后将前述溶液倒入三角瓶内，置水浴上加热至红色结晶几乎全溶，取下冷却，用慢速滤纸磁漏斗抽气过滤。沉淀移至600ml烧杯中，加丙酮100ml，活性炭5g搅拌（脱色），再于水浴上加热，使沉淀溶解，趁热迅速抽气过滤（应将磁漏斗烤热，否则漏斗上将析出沉淀），用温热丙酮洗涤滤纸数次。再重复于丙酮中加活性炭结晶3次，最后将溶液在冷水槽中冷却，析出沉淀，抽气过滤至干，将滤纸连同沉淀取下风干，成品为橙黄色，装入棕色瓶中保存备用。

（三十）二苄基二硫代乙二酰胺的制备

称取20g二硫代乙二酰胺于烧杯中，加入100ml乙醇和38ml苄胺，在电热板上加热，此

时有特殊臭味逸出，开始二硫代乙二酰胺溶解并和苄胺反应生成黄色的二苄基二硫代乙二酰胺，溶液颜色渐深，并逐渐有淡黄色沉淀生成，反应约需 15min，至沉淀的量不再增加为止。用冷水冷却后，用玻璃滤器抽滤，用冰冷乙醇洗涤，所得的粗结晶用丙酮溶解（17g 粗结晶约需 100ml）冷却，重结晶，反复三次，将沉淀放入干燥器中干燥，即可使用。

（三十一）偶氮氯膦Ⅲ〔2,7-双（4-氯-2-膦羧基苯基偶氮）-1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸〕的制备

1. 2-氨基-5-氯苯膦酸的制备

（1）重氮化　将 80g 邻硝基苯胺加热至 50℃溶于 800ml 氟硼酸（相对密度 1.24）中，溶液再用冰冷至 3℃，不断搅拌，于（3～8）℃加入 40g 亚硝酸钠进行重氮化。此时析出亮黄色的晶体。溶液在－1℃放置半小时，将沉淀滤出。用冰水（50ml）和乙醚（50ml）洗涤后，置空气中干燥至恒重。可得 118.5g 邻硝基苯胺的氟硼酸重氮盐。

（2）桑德迈耳反应　在 635ml 无水乙酸乙酯中，加入 155ml（1.75mol）三氯化磷和 25g 氯化亚铜。于此混合溶液中，在 30℃缓缓加入邻硝基苯胺的氟硼酸重氮盐 118.5g 和 25g 氯化亚铜的混合物。在加入混合物的过程中，温度上升至 50℃时开始放出氮气，待氟硼酸重氮盐全部加入后，温度可上升到 65℃，此时反应逐渐完成，氮气停止释放。反应产物在 65℃放置 3h，第二天在（15～30）℃下加入 10ml 水，在（50～65）℃加热 1h，最后在（45～60）℃加入 590ml 水，用碳酸氢钠中和至 pH 为 3，加热到 45℃，冷却后析出绿色沉淀（含铜络合物），过滤。滤液中部分未析出的含铜络合物可经乙酸乙酯萃取分离后再析出。将沉淀合并，用水洗涤，在 100℃干燥。产量为 32g。将绿色沉淀溶于稀盐酸中（1＋2），通入硫化氢以沉淀铜，过滤，将滤液蒸发至一半体积后，加入活性炭除去有色物质，过滤，用碳酸钠中和至 pH 为 3，即有白色无定形沉淀析出，过滤，用冰水（约 75ml）洗涤，在 120℃温度下干燥，可得 11g2-氨基-5-氯苯膦酸。

（3）重结晶　2-氨基-5-氯苯膦酸能溶于水和乙醇，可从稀盐酸或乙醇（用盐酸酸化）中重结晶得细针状晶体。

2. 偶氮氯膦Ⅲ的制备

（1）重氮化　称取 4.5g2-氨基-5-氯苯膦酸于 400ml 烧杯中，加入 4ml 浓盐酸，加水至体积约（20～25）ml，搅拌，溶液为乳状，放入冰浴中冷却，在不断搅拌的条件下，滴加 10ml 亚硝酸钠溶液（1.7g 溶于 10ml 水）进行重氮化。此时溶液从乳状变为淡黄至棕色而全溶。

（2）偶合　称取 2.5g 变色酸溶于 20ml 10%氢氧化钠溶液中，过滤，将滤液放入冰浴中冷却后，加入上述重氮盐溶液中，此时溶液应为紫色，如呈红色说明混合物溶液为酸性，应、立即加入 10%氢氧化钠溶液，使混合液的 pH 为 8～9。搅拌使偶合反应进行约 1h，溶液由紫色变为蓝色，最后烧杯壁带有绿色，而且溶液变稠。在偶合反应进行中，为了要保持反应混合液的 pH 值在 8～9 范围，应注意在间隔时间内加入苛性钠溶液以调整之。静置（2～3）h，使偶合反应完全，过滤，于滤液中加入 6mol·L^{-1}盐酸约 30ml，使溶液 pH<3，静置半小时，此时有深红色晶体析出，抽滤，沉淀用 1mol·L^{-1}盐酸 100ml 洗涤（2～3）次后溶于 100ml2%氢氧化钠溶液中。所得溶液再用 6mol·L^{-1}盐酸酸化至溶液 pH<3，沉淀又重新析出，抽滤，用 1mol·L^{-1}盐酸洗涤二次，在 80℃干燥。沉淀为含有 4 分子结晶水的偶氮氯膦Ⅲ。如在 160℃将沉淀继续干燥直至恒重，可得到无水结晶粉末。

（三十二）1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基吡唑酮-〔5〕(PMBP)的制备

1. 缩合　在 10L 三口烧瓶中，加入 1，3，5-吡唑酮，700g 氢氧化钙-无水酒精悬浊液

(700g 氢氧化钙悬浮于 4000ml 无水酒精中，把 4000ml 悬浊液全部加完)。搅拌，加热回流。在溶液快要出现紫青色以前，立刻将 500ml 苯甲酰氯（分析纯）逐滴加入，约 1h 加完，反应液由橙变黄。在回流冷凝管上接一只装有无水氯化钙的干燥管。滴完后继续回流搅拌 2h。放冷。

2. 水解　配 7 000ml 3mol・L^{-1}盐酸溶液（1 750ml 浓盐酸溶于 5 250ml 水中）边搅拌，边将上述缩合后产物倾入其中，冷却，逐渐析出黄色沉淀，继续搅拌几小时（搅拌速度宜快，搅拌时间约 3h)，反应液呈粉红色糊状（结晶粒子很细）为止。过滤，粗品用自来水洗涤（2～3）次至洗液 pH≤3。即得粗品。

3. 重结晶与转化　将粗品的一半，用约 600ml 纯氯仿加热溶解回流约半小时后，分去水层，将氯仿溶液过滤（用二层滤纸），得滤液约 1 000ml，然后浓缩，在（60～62)℃时蒸出氯仿约（360～380) ml，冷却，得 PMBP 结晶（0.35～0.4) kg，颜色为橙黄色，成品用乙醚洗涤一次，即呈淡黄色（熔点 89℃～91℃)。另一份半粗品也同样处理。

将两部分母液混合，蒸去氯仿约（50～60) ml，得（100～150) gPMBP 成品，再将滤液浓缩（氯仿几乎快蒸完)，析出 PMBP 残渣，将它用乙醚洗涤一次或直接用纯氯仿（冷的）溶解，过滤，蒸去一半氯仿，再结晶，也得到 PMBP 成品。

4. 干燥　将产品尽量抽干，置空气中室温干燥，不断研细，翻动。

(三十三)铍试剂Ⅱ〔8-羟基萘-3,6-二磺酸-(1-偶氮-2)-1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸〕的制备

取 3.8gH 酸（1-氨基-8-萘酚-3，6-二磺酸钠）放入 50ml 4%（体积分数）盐酸溶液中，将混浊液加热至 35℃，加入 5ml14%的亚硝酸钠溶液，保持温度（30～35)℃之间，使其重氮化 15min，然后将生成的悬浊状针形草黄色重氮化合物放冷，搅拌（10～15) min，继续冷却至室温，然后向混合物中加变色酸（1，8-二羟基萘-3，6-二磺酸钠）混合溶液（混合溶液是由 4g 化学纯变色酸和 5g 乙酸钠共溶于 60ml 水中而制成)。此时呈现紫色，继续搅拌 5h，过滤所得到的膏状物质，烘干，研成粉末，即得铍试剂Ⅱ的四钠盐（$C_{20}H_{10}O_{15}N_2S_4Na_4$)。

如果欲制取铍试剂Ⅱ的二钠盐，则将得到的膏状物质，加热溶于 150ml 水中，再过滤一次，以滤去可能存在的微小残渣。向热的滤液中加入 50ml 浓盐酸，并使之慢慢的冷却，即析出均质较大的薄片状的紫褐色沉淀，过滤，用 1+2 盐酸洗涤，在 120℃下干燥后，即得铍试剂Ⅱ二钠盐（$C_{20}H_{12}O_{15}N_2S_4Na_2$)。

(三十四)氯代磺酚 C❶〔4,5-二羟基-3,6-双(5-氯-2-羟基-3-磺基苯偶氮)2,7-萘二磺酸〕的制备与提纯

在直径为 10cm 的搪瓷桶中加入 4-氯-2-氨基-6-磺基苯酚 613g、浓盐酸 1150ml、蒸馏水 5700ml 搅匀，外用冰盐水冷却至 0℃，在不断搅拌下滴加亚硝酸钠溶液（257g 亚硝酸钠溶于 624ml 水中，预先冷却)，滴加时控制温度（0～2)℃，加完后搅拌 10min，使 4-氯-2-氨基-6-磺基苯酚全部溶解（如有不溶物，再加入少量亚硝酸钠溶液)，趁冷快速过滤，弃去不溶物，将重氮盐溶液保持在 0℃备用。在直径为 32cm 搪瓷桶中加入变色酸 393g、蒸馏水 4 350ml，搅拌下加入 30%氢氧化钠少许（至 pH=7）慢慢加入氧化钙 934g（焙烧)，用冰盐浴使其冷却至（0～5)℃，然后将备用的重氮盐溶液慢慢滴入，同时不断搅拌，温度控制在（5～10)℃。

滴加时，用 pH 试纸检验溶液是否呈碱性，如 pH<8，则需再添加 20g 粉状氧化钙，以确保偶合在碱性条件下进行。反应液由红色逐渐变为蓝色。加完重氮盐后，在 20℃搅拌（1～1.5) h，放置过夜。

---

❶ 即氯代磺酚 S。

第二天用浓盐酸（约 1 800ml）酸化至 pH＝1，氯代磺酚 C 呈游离状析出。冷却，过滤，即得氯代磺酚 C 粗品。

粗品精制　将粗品溶于热碳酸钠溶液中（2850g 碳酸钠溶于（70～80）℃的 18 500ml 蒸馏水），充分搅匀，乘热过滤，再用少量碳酸钠热溶液洗涤沉淀。滤液用浓盐酸酸化，使 pH≤1，室温放置 2～3h，使结晶颗粒增大，利于过滤（滤布最好用布质）。沉淀物在 120℃烘干、研细，再用 1＋2 盐酸（1 份盐酸＋2 份水）浸泡，用量以使粉末浸没呈稀糊状为宜。2h 后（或过夜），过滤，用稀盐酸洗涤 1～2 次，抽干，在 120℃烘干，研细即得氯代磺酚 C 产品（或质量不好，可再用 1＋2 盐酸浸泡 1～2 次）。

（三十五）1-羟基-4-（对甲苯氨基）-蒽醌的制备

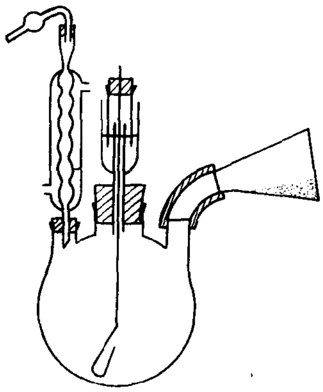


图 2-10　酰基化三口烧瓶

1. 酰基化　于 250ml 三口烧瓶中先后加入对氯苯酚 18g（化学纯）、邻苯二甲酸酐 15g（化学纯）和对称四氯乙烷 74ml（化学纯）。在加热搅拌下，将预先装好（见图 2-10）的 44g（工业）无水三氯化铝分数次加入，每次加入数量以氯化氢逸出不太激烈为准。待无水三氯化铝加完，反应稍缓和时，可停止搅拌，稍放冷，迅速将三口烧瓶上三氯化铝加料用的三角烧瓶取下，换上温度计，然后继续搅拌和加热，并保持在 130℃反应 6h，反应后放冷，在边摇边冷情况下倾入 300ml 20％盐酸液，接着进行水蒸气蒸馏。过后将残留物放冷过滤。在固体中加入 150ml 12％氨水（调节 pH 约在 11 左右）和活性炭粉，加热并趁热过滤，滤液待冷却后，渐渐加入 20％盐酸液，使溶液呈酸性（pH≈2～3）。待固体析出完全，进行过滤，水洗和干燥，得粗品 5-氯-2-羟基-苯甲酰苯甲酸（Ⅰ）约 23g（熔点 180℃～184℃），经苯重结晶得淡黄色斜面晶体（熔点 199℃～200℃）。

2. 环化❶　取发烟硫酸（约含 20％三氧化硫）200ml（化学纯）放入 250ml 三口烧瓶中，然后在搅拌下加入硼酸 8g（分析纯）和（Ⅰ），在 95℃反应（30～45）min，反应后将反应液冷却，渐渐倾入冰中。析出的固体进行过滤和水洗，最后加 6％氨水（溶液呈碱性）搅拌，加热，并趁热过滤。固体经水洗后干燥，得粗制品 1-羟基-4-氯蒽醌（Ⅱ）约 18g（熔点 192℃～193℃）。经冰醋酸重结晶，得橙色针状晶体（熔点 193℃～194℃）。

3. 缩合　将（Ⅱ）与 289g 对甲苯胺（分析纯）、32g 无水乙酸钠（化学纯）和 0.32g 乙酸铜（化学纯）放在研钵中研细，混匀，然后放入 250ml 三口烧瓶中，维持 150℃搅拌加热回流 4h。反应后稍放冷，倾入 160ml 3％盐酸液，在搅拌下，微热数分钟后倾去盐酸液。然后再进行多次（约 6 次），每次加 160ml 3％盐酸液，并加热趁热过滤，最后所得固体用热水洗涤，抽干、干燥，得粗制品。❷

1-羟基-4-（对-甲苯胺基）-蒽醌（Ⅲ）约 19g（熔点 160℃～169℃），经冰醋酸重结晶得紫黑色针状晶体（熔点 191℃～192℃）。

（三十六）偶氮胂Ⅲ（1,8-二羟基萘-3,6-二磺酸-2,7-双〔（偶氮）-2-苯胂酸〕）的制备与提纯

1. 偶氮胂Ⅲ的制备

---

❶ 环化时用浓硫酸（相对密度 1.84）代替发烟硫酸（其用量同发烟硫酸，但不用硼酸），温度在 120℃、反应 2h 亦可，但产率稍低，仅 70—80％。

❷ 本合成所得中间体，粗品未经精制（重结晶）亦可使用，不会影响最后产品的质量，但产品必须经过精制处理。

称取 60g（0.276mol）邻氨基苯胂酸于微热下溶解在 100ml 水和 60ml 盐酸（相对密度 1.18）中。冷却后待氯化氢盐沉淀。加入（150～200）g 碎冰块，在不断搅拌下加入 40%亚硝酸钠溶液〔20g 亚硝酸钠（0.29mol）溶于 50ml 水中〕50ml。用淀粉碘化钾试纸试验，有过剩的亚硝酸时，再补加一些邻氨基苯胂酸。溶解 26g（0.0717mol）变色酸二钠盐于 100ml 水中，加入几 ml 20%石灰乳（20g 氧化钙加 100ml 水）。再加入（300～400）g 碎冰块冷却，在不断搅拌下把上面制得的溶液慢慢的加入，并不断的加入石灰乳使介质保持碱性。溶液开始为红紫色，随后呈蓝色。于室温下静置（1～2）h。

为了检查上述反应是否完全，取 1 滴溶液于（50～200）ml 蒸馏水中。搅匀后取（5～10）ml 此溶液于试管中，加入几滴浓盐酸，再加（1～2）滴钍盐溶液〔（10～20）mg/ml 钍〕。溶液呈现翠绿色或蓝绿色（钍同铀试剂Ⅲ的络合物）。

把检查钍后剩余的溶液分成两份，向其中之一加入 5～10 滴浓硫酸，摇匀并冷却试管。假若反应完全，当加入硫酸后其颜色同未加硫酸的溶液很易区别，前者颜色为深绿色。若反应不完全，加入硫酸后则呈红紫色、深红色或混浊的絮状物出现。这时就必须再加邻氨基苯胂酸重氮盐溶液于变色酸的溶液中，并相应地加入石灰乳使其保持碱性、静置，再按以上所述进行检查。

向制得的混合液中加入（2～3）L 沸水，（400～500）ml 盐酸（相对密度 1.18），不断搅拌使钙盐完全溶解，并静置过夜。把得到的黑色沉淀过滤，用（150～200）ml 盐酸（1+5）洗涤，再用水洗，弃去滤液。把得到的产物溶于 2L2%氢氧化钠溶液中，滤去不溶的杂质，酸化滤液至微酸性后再加（150～160）ml 盐酸（相对密度 1.18）。静置使沉淀完全后过滤，用（200～300）ml 水洗涤，再用 50ml 乙醇洗涤。为了精制可重复沉淀几次，得到的偶氮胂Ⅲ约 53g。

2. 偶氮胂Ⅲ的提纯　将欲提纯的偶氮胂Ⅲ 3g，溶于 300ml 水中，加热，加入 2 滴浓盐酸酸化，趁热过滤。滤液盛于 500ml 石英皿中，置水浴上加热，在搅拌下滴加（5～10）ml 浓盐酸，蒸发至溶液体积约为 80ml。放置 2h，过滤。所得产品用水洗 2 次，再用乙醇洗 2 次。按上述步骤再结晶一次，所得产品在 60℃干燥，即可使用。

（三十七）亚硝基 R 盐（2,3,6-β 萘酚二磺酸钠）的制备

溶解 35gR-盐于 400ml 水中，然后加入 10ml 浓盐酸使溶液成为酸性。将容器放在冰水中冷却至 5℃，在激烈搅拌下加入冰冷之亚硝酸钠溶液（7.2g 亚硝酸钠溶于 20ml 水中）。加时要慢，最好自滴液漏斗中加入，全部加完约需半小时。继续搅拌 15min。过滤，将生成物与 50ml 水共同搅拌以洗去不纯物，然后吸滤。以 10ml 冷水洗涤两次，再以 15ml 乙醇洗一次。

（三十八）茜素红 S 的制备

把 1 份茜素与 3 份发烟硫酸（含 20%三氧化硫）在（100～150）℃加热数小时，直到生成物能完全溶于水时为止，把所得的混合物倒入水中，并用氢氧化钙把溶液中和再加入碳酸钠使钙盐转化为钠盐，滤去生成的碳酸钙，把溶液放在水浴上蒸发至干。

（三十九）苯芴酮（9-苯-2,3,7-三羟基-6-芴酮）的制备

1. 苯醌的制备　先配成 A、B 两种溶液

溶液 A：将 198g 对苯二酚放入（3 000～4 000）ml 的大玻璃缸或搪瓷缸中，加入 900ml 乙酸（60%），缸中装入一搅拌机，使溶液混匀，冷却至 5℃以下。

溶液 B：取 252g 铬酸酐，放入 1 000ml 烧杯中，加入 420ml 水和 180ml 冰醋酸，混匀后，冷却，移入分液漏斗中。

当溶液 A 的温度降至 5℃时继续开动搅拌机，将溶液 B 由分液漏斗中缓缓加入溶液 A 中，进行反应，约 3h 完成，这时铬酸酐也恰恰加完。立刻过滤，用冷水充分洗涤，所得的黄色结晶，即为对苯醌的粗制品。

将所得的粗制对苯醌（约 200g 湿品）放入 1 000ml 的烧瓶中，加入（260～300）ml 乙醇，瓶口装一回流冷凝器，加入少许活性炭，继续装上回流冷却器，在水浴上加热 3～4min，立即迅速过滤，滤液倒入 1 000ml 烧瓶中，用流水冷却 10h 后立即将析出的结晶滤出，放搪瓷盘中，把产物铺开，令其在短时间内晾干（不要加热或用日光晒）最后将产品保存于塞紧的褐色瓶中。产量约 130g。

2. 苯芴酮的制备　在 600ml 烧杯中加入 180g 乙酸酐（分析纯），再加 12g（约 7ml）浓硫酸（优级纯）作为催化剂，将烧杯放于冷水中，一边搅拌一边分小份地加入 60g 对苯醌，保持（40～50）℃[1] 当所有对苯醌加完后，放置片刻，溶液中开始有沉淀析出，当温度降至 25℃时，将烧杯中的溶液和沉淀倒入 750ml 冷水中[2]，此时析出大量白色沉淀（1，2，4-苯三酚的三乙酸酯），冷至 10℃抽吸过滤，在 250ml 95％乙醇中重结晶，放于真空干燥器中干燥。取 250g 苯三酚三乙酸酯，加热溶解于 150ml 乙醇（分析纯）、130ml 水、40ml（1＋1）硫酸的混合液中，加入 25g（约 24ml）苯甲醛[3]，放置 8d 并经常搅拌，将黄色硫酸苯芴酮沉淀抽吸过滤（滤液放置后仍有硫酸苯芴酮沉淀继续析出，可与下次生产时一同过滤回收），用上述混合溶液洗涤沉淀，将洗好之沉淀悬浮于 300ml 水中，加入足够的氢氧化钠（优级纯）至 pH＝4～5 使苯芴酮硫酸盐完全水解，搅拌并放置过夜。将红色（橙色）苯芴酮沉淀抽吸过滤，用水洗若干次，最后用酒清洗两次，除去残余的苯甲醛，放入真空干燥器中，干燥后使用。

（四十）二甲氨基苯芴酮（9-〔*n*-(*N*-二甲氨基)〕苯芴酮）的制备

取 18g（0.072mol·L^{-1}）新制备的苯三酚三乙酸酯和 5g（0.035mol·L^{-1}）*N*，*N*-二甲氨基苯甲醛，加热溶解于混合溶剂中（混合溶剂的配制：80ml 酒精，80ml 水和 8ml 浓硫酸混合），所得溶液在水浴上煮沸 10h，然后在室温下放置 10h，将析出硫酸二甲氨基苯芴酮橙红沉淀，过滤，将沉淀溶解于混合溶剂中（其配制和用量与前述一样），将得到的溶液加入少量活性炭，煮沸 5min，然后滤出活性炭，在热的滤液中用氨水中和至 pH＝7，这时即析出红色的沉淀二甲氨基苯芴酮沉淀，在热的状态下过滤，并用热水洗涤至无氨味为止。然后烘干研碎即可使用。产量 6.6g（53％）。

（四十一）α-亚硝基-β-萘酚的制备

在烧杯中溶解 20g β-萘酚于 200ml 5％氢氧化钠溶液中，再加入 10g 亚硝酸钠之粉末，搅拌使其溶解，放于水盐混合寒剂中冷却至－5℃，慢慢滴加 30％（质量分数）稀硫酸约 60ml，温度始终要保持在 0℃以下，反应完成时，每加入硫酸即有大量氧化氮放出。再继续搅拌半小时后吸滤，以 10ml 冰水洗涤 2 次，尽量吸去水分（水分含量多寡影响生成物之颜色），风干或在真空干燥器中以硫酸干燥，必要时以石油醚再结晶。

（四十二）对硝基苯偶氮间苯二酚的制备

取 14g 对硝基苯胺与 25ml 的浓盐酸混合加热使之溶解后，用冰块致冷剂冷却到 0℃～

---

[1] 加入醌时应慢慢的加入，适当的控制温度（40～50）℃，如温度过高则易碳化，过低则影响反应进行。

[2] 醌加完后，温度降至 25℃时，一定要将该溶液慢慢地倒入 750ml 水中，并用力搅拌，以免形成坚硬大块以后过滤时难以处理。

[3] 混合液静止后，如沉淀出现很少，或者根本没有，应补加少许苯甲醛与酒精，稍热再静止，并经常搅拌。

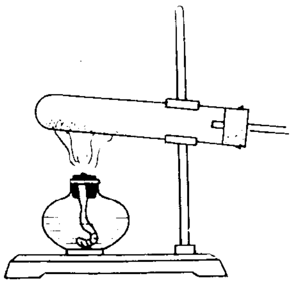
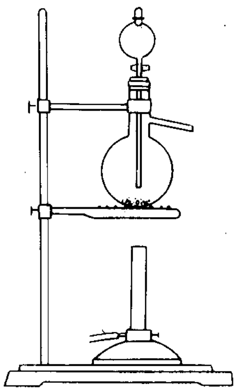
5℃之间，用含 8.5g 亚硝酸钠的冷溶液使之重氮化，然后把生成的重氮化溶液在充分搅拌下慢慢加入含有 10g 间苯二酚的 20ml10%氢氧化钠溶液中（加时要慢!），加完后再继续搅拌（10～15）min，过滤，干燥，以酒精再结晶（市售有一种颜色为棕色者质量不佳，应为暗红色粉末）。

第十节　气体的获得与纯化

一、制备气体的实验装置

在化学实验中经常要制备少量气体，可根据原料和反应条件，采用下表 2-18 的某一种装置进行。

表 2-18　制备气体的常用装置

制备方法	装置图	制备气体	注意事项
在试管中加热固体试剂		O_2、NH_3	1. 试管口向下倾斜，以免可能凝结在管口的水流到灼热处炸裂试管 2. 先用小火焰均匀预热试管，然后再在有固体物质的部位加热 3. 装置不能漏气
固体与液体试剂反应，可加热		CO、SO_2、Cl_2、HCl、C_2H_2	1. 分液漏斗颈应插入液体试剂中，或插入一小试管中，以保持漏斗的液面高度 2. 必要时可加热，也可加回流装置
固体与液体试剂反应，不加热	启普发生器	H_2、CO_2、H_2S 等	详见启普气体发生器

启普气体发生器

1. 部件　启普气体发生器由一个葫芦状的玻璃容器和球形漏斗两部分组成。容器底部有一液体的出口，用玻璃塞或橡皮塞塞紧。球形的上部有一气体出口，与带有玻璃活塞的导气管相连接（图 2-11）。

2. 装配　在球形漏斗的颈部涂一层凡士林，插入葫芦状容器，转动几次使其装配严密。导气管上的活塞也要涂一层凡士林。装置见图 2-12。

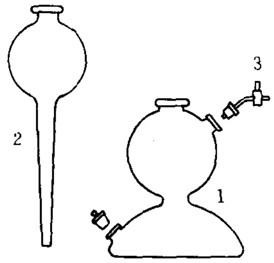


图 2-11　启普气体发生器分部图
1—葫芦状容器；2—球形漏斗；
3—活塞导管

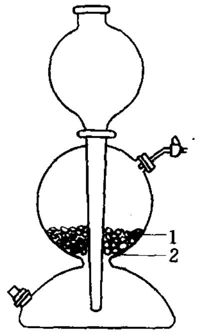


图 2-12　启普气体发生器装置
1—固体药品；2—玻璃棉

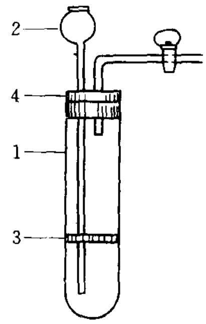


图 2-13　启普发生器的代用装置
1—大试管；2—长颈漏斗；
3—多孔瓷板；4—橡皮塞

3. 气密性的检查　开启导气管活塞，从球形漏斗口加水至葫芦状容器下半部的半球体、关闭活塞。继续加水至水面上升到漏斗球形体内，在水面处做一记号。静置片刻，若水面不下降，证明不漏气，即可使用。

4. 试剂的加入　在葫芦状容器的狭窄处垫一些玻璃棉，以免固体药品掉入半球底部，然后由气体出口加入块状或较大颗粒的固体试剂。加入量不宜超过中间球体容积的 1/3。否则因反应激烈，容易使反应液随气体从导气管冲出。加好固体后，再从球形漏斗加入适量反应液。

5. 气体的发生　打开活塞，反应液即上升至中间球体内与固体接触，便有气体产生。此时可调节活塞以控制气体流速。停止使用时，只要关闭活塞，气体就会将反应液从中间球内压回球形漏斗内，使反应液与固体脱离接触，从而停止气体的发生。若要重新制备气体，只要打开活塞即可。

6. 添加或更换试剂　发生器中的反应液使用一段时间后，浓度逐渐变稀，需要更换反应液和固体试剂（或添加适当固体试剂）。更换反应液时，先用塞子塞紧球形漏斗上口，然后拔下液体出口的塞子，倒掉废液后，重新塞好。由球形漏斗中加入反应液。更换或添加固体试剂时，先关闭导气管的活塞，当反应液压入葫芦状容器下部后，用塞子塞球形漏斗上口，即可取下导气管的橡皮塞，更换或添加固体。

7. 发生器的保管　实验结束后，倒出废液。剩余的固体必要时可洗净回收。洗净仪器，晾干后，在球形漏斗与葫芦状容器、活塞及各个塞子的连接处衬垫一小纸片，可防止时间过久使磨口粘结。

8. 启普发生器的代用装置　当制备少量气体或无启普发生器时，可用图 2-13 的装置代替。

二、常用气体的制备与纯化

（一）氢气制备与纯化

在实验室中可用比较活泼的金属与硫酸或盐酸作用来制得：

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

通常是用锌作用于盐酸〔1 体积的 HCl（相对密度 1.19）加 1 体积的水〕或硫酸〔1 体积

的 H_2SO_4（相对密度 1.84）加 8 体积的水〕来制备氢。该反应最好是在启普发生器中进行。若所用的锌很纯，则发出的气体缓慢。欲使过程加速，可添加几滴 $CuCl_2$ 溶液（在使用 H_2SO_4 时，则加几滴 $CuSO_4$ 溶液），这时铜沉积在锌上，并形成电偶，使锌的溶解速度大大加快。

若使用不够纯的锌和酸时，所得的氢可能含有下列杂质：磷化氢、砷化氢、亚硫酸酐、氧化亚氮和氧化氮、二氧化碳、氮、硫化氢、氧和烃类等，为使氢提纯，可将它通过洗液〔将 $100gK_2Cr_2O_7$ 和 $50gH_2SO_4$（相对密度 1.84）溶解在 1L 水中。〕或者通过高锰酸钾碱性溶液，然后再用煅烧过的 $CaCl_2$ 或 P_2O_5 进行干燥。经本方法提纯的氢仍含有少量的空气杂质，为除去经常起有害作用的氧，可使气体通过装有还原铜末的赤热的玻璃管（参看氮气制备与纯化的活性铜法）。由于氢总是能还原氧化铜，故柱子可以长期工作，而无需更换试剂。

电解 KOH 溶液几乎可制得不含任何杂质的纯氢，本过程最好在图 2-14 所示的装置中进行。

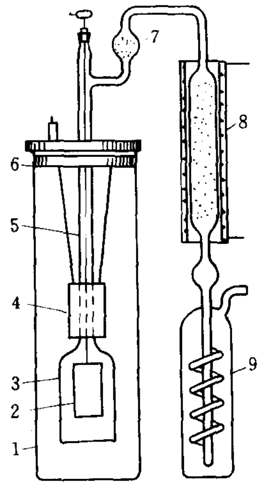


图 2-14　电解法制备氢（或氧）的装置

1—玻璃容器；2—阴极；3—玻璃钟罩；4—阳极；5—排气管；6—盖子；7—装满玻璃棉的球形管；8—装有活性铜的管；9—洗瓶

小电解槽的外壳是一个圆柱形的玻璃容器 1，在它上面严实地盖着用有机玻璃或石蜡浸过的木材制成的盖子 6，它是由可拆开的两半组成（为固定管 5 方便起见）。为排出氧，需在盖子上钻一个小孔，在连在盖子上的镍丝下面挂着圆柱形的镍制阴极 2 和阳极 4，阴极是安装在通排气管 5 的玻璃钟罩 3 里。

在容器 1 中装入 2/3 体积的 30%的 KOH 溶液，然后将阳极和阴极分别接上电源的正负极。进行电解时，利用变阻器维持电流强度在（3～5）A 之间。

在出来的气体中含有氧和碱的液滴，碱的飞沫被设在排气管的扩大部分 7 处的玻璃棉阻住。为除去极小的雾状碱沫，可将气体通过加热到 1000℃的由石英砂制成的石英管（图 2-14 中没有表示出来）。氧可通过装有活性铜的管 8 除去（参看氮气制备与纯化中活性铜法）。

然后将氢气在装有硫酸（相对密度：1.75，不能再高！）的洗瓶 9 中进行干燥。

该装置的电解能力为（3～4）$L \cdot h^{-1}$纯氢，它也可并联几个电解槽。

也可利用氧气制备与纯化的电解制氧的装置，来进行电解制氢。

为除去氢气中的 O_2、N_2 和水蒸气，可使气体通过装有镁屑，并加热到（550～560）℃的瓷管。

使氢气提纯（特别是除去氮和其他惰性气体）的一个有效方法是扩散。它是使气体通过赤热的金属钯薄板或通过赤热的钯与金（或银）组成的合金薄板。用本方法进行气体纯化的装置大致如图 2-15 所示。将经过高锰酸钾碱溶液除去杂质 As 和 Sb 后的氢气通入钯安瓿 1 中，并将安瓿 1 装在被电炉 2 加热的石英管 3 中。石英管预先小心地抽真空。通过钯安瓿瓶壁扩散到管里的纯氢含氮和氧不超过 $10^{-7}\%$。对于氢的热扩散提纯，采用生产能力为 $35L \cdot h^{-1}$的专用设备是很方便的。

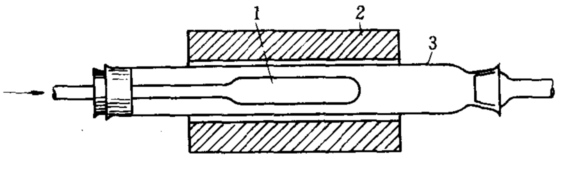


图 2-15　钯扩散法提纯氢装置

1—钯制安瓿；2—电炉；3—石英管

备注：

（1）在加热或点燃氢时，因能引起爆炸，应特别小心。须预先在试管中收集气体样品，并进行点燃，当含有大量空气时，会发生爆炸，较纯的氢则有尖锐的爆鸣声，纯氢在点燃时平静地燃烧。

（2）为防止氢焰进入气体发生器，在一个长 10cm、直径为 10mm 的玻璃管中放置着 10 片紧靠管壁安置的细金属丝网，并用棉球将它们彼此分开。此玻璃管应安装在气体发生器和燃烧器之间。

（二）氧气制备与纯化

在催化剂（MnO_2 或 Fe_2O_3）存在下，加热分解 $KClO_3$ 是制备少量氧的最方便的方法：

$$2KClO_3 \xrightarrow[\triangle]{MnO_2} 2KCl + 3O_2 \uparrow$$

在 $KClO_3$ 和催化剂中，不应含有易燃性杂质（煤、纸等），否则可引起强烈爆炸！因此，将少量的反应混合物预先在金属匙中灼烧是有好处的，这样可以保证放出的氧是平稳的（既使在混合物中出现小火花，也没有危险）。

将 1 份纯级品的 $KClO_3$ 与 0.5 份纯级品的催化剂所组成的混合物，装在大试管或小烧瓶中，用灯焰加热，在生成的氧中含有少量的氯气杂质，将此气体通过 KOH 溶液，能够很容易地将它除去。

将高锰酸钾加热分解，同样可制得氧：

$$2KMnO_4 \xrightarrow{\triangle} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2 \uparrow$$

其加热过程类似于 $KClO_3$ 法。

若必须制得不含有痕迹量的氮和惰性气体的氧气时，最好是预先将高锰酸钾，在真空及120℃下进行加热，以除去它所吸附的气体，然后关闭真空泵，提高温度至 $KMnO_4$ 开始分解。从 318g$KMnO_4$ 中可制得 17L 纯氧。

将碱溶液或含氧酸溶液进行电解，能制得不含氮的纯氧。电解最好是在内径为（40～50）mm 的 U 型玻璃管中进行（图 2-16）。管内装着由镍铁皮或铂铁皮（更好）制成圆筒形电极。电解时，电压 10V。在使用铂电极时，30%的 NaOH 溶液、20%的硫酸都可作为电解质。另外，20%的 CrO_3 硫酸（10%）的溶液，或 $KMnO_4$ 溶解在 10%的 H_2SO_4 中的饱和溶液亦可作为电解质。

如果氧必须在压力为（196～294）Pa（20～30mmH_2O）以上排出，为使系统压力平衡，则氢气排出管也应插在烧杯中，并浸入水中一定深度。

为使出来的氧提纯，将它通过玻璃棉以除去液沫。然后通过加热到 400℃的镀铂石棉，使痕迹量的氢接触氧化。如果采用镍电极，并在它上面镀一层黑色的 NiO，则逸出的氧不含有氢。

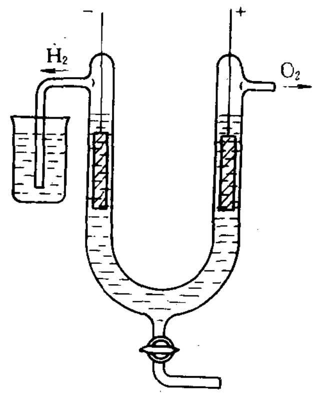


图 2-16　电解制氧装置

在重复使用此装置时应特别注意，不要把电极搞错。

市售（钢瓶装）的压缩氧气已相当纯，在大多数实验工作中可以使用，用 $KMnO_4$、KOH 和浓 H_2SO_4 溶液来洗涤它是有益的。它里面一般不含有 N_2 杂质。

（三）氮气制备与纯化

工业氮除去杂质氧的粗提纯，可采用将气体在赤热铜上通过下述的方法来制得。本方法也可用于从空气中制备氮气。

在耐高温玻璃管中，装入粒状氧化铜（也可用卷紧的铜网），用氢气置换出管中的空气（断定置换完全与否，可参看

氢气制备与纯化备注（1)），并在氢气流下将氧化物加热到（200～250）℃。经还原后，使氧化铜变成金属铜。待管子冷却后，用工业氮气置换出氢气，并将此装有铜的管子加热到赤热温度。然后缓慢地通入工业氮气或空气。从管中出来的气体几乎没有氧。为除去CO_2，使气体通过50%的KOH溶液。为使其干燥，再分别使它通过装有$CaCl_2$的柱子及装有浓H_2SO_4的洗瓶。

若使气体再通过第二根赤热的铜管时，则可制得更纯的氮气。

采用活性铜除氧是氮气（氢气、氩气和一些别的气体）提纯的极好方法。其活性铜是固定在硅胶上的。

铜用下面方法进行活化，往250g$CuCl_2\cdot 2H_2O$溶解在2L水的溶液中加入250g硅胶〔颗粒直径（1.5～2）mm〕并将混合物加热到60℃。然后将加热到60℃的200gNaOH溶解在500mm水中的溶液倒入上述溶液中。静置10min后，将混合物倒入装有10L水的容器中澄清。所得沉淀倾析洗涤，然后放在布氏漏斗上抽滤。待所得物料稍干后，将它制成直径为（3～4）mm的小球，在180℃下干燥数小时，直到呈现出棕色时为止。然后将它装进带有电热丝加热夹套的玻璃柱（图2-17）。柱里的空气用氢气置换出来，加热柱子到200℃，并在氢气流下，将氧化铜还原成金属铜。在此过程中控制颗粒的颜色由棕色转变为深紫色，待柱子在氢气流下冷却后，即可进行工作。

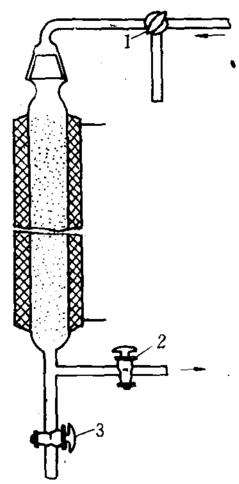


图2-17　用活性铜提纯氮气的柱子
1—气体进口旋塞；2—纯净气体出口旋塞；3—排水旋塞

为进行提纯，首先用氮气吹洗柱子（如图2-17）所示经旋塞1进气，经旋塞2出气）然后将柱子加热到200℃，并在整个提纯过程中维持此温度。经提纯后，气体中的氧含量不超过0.001%。随着提纯过程的不断进行，铜逐渐变成氧化铜。因此必须照上面的方法，周期性地使用氢气将它还原成铜。旋塞3是放水用的，因为在用氢气处理时，可能会有水聚集在柱里。

对于少量氮气除去痕迹量的氧的十分精密的提纯（例如，用于极谱工作的），可利用二价氯化钒溶液来进行。

VCl_2溶液可用下面方法制得：将16g硫酸氧钒$VOSO_4\cdot 3H_2O$溶解在500ml水中。再加入70mlHCl（相对密度1.19），然后用水稀释到体积达1L。取200ml制备好的溶液，并加入（10～15）g的锌粉，然后进行搅拌，直到溶液的颜色由浅蓝色（V^{4+}）转变为紫色（V^{2+}）时为止。再继续搅拌10min，然后将溶液倒入吸收瓶中；瓶的底上装有汞齐化了的颗粒状锌。

建议最好是采用特殊的吸收孔装置，见图2-18。经上面的短管〔见图2-18（a)〕倒入VCl_2溶液到孔眼高度的1/3处，被提纯的气体进入中心管，并通过该管上部球上的小孔进入中间管，然后以鼓泡形式通过VCl_2溶液。这时液体通过下面的小孔被排到中间管的外面。这种结构的吸收器可以保证吸收层有足够高度，并且锌粒放置处还可以在气体入口处压力显著降低的情况下防止液体倒流。为使装置紧凑，各部分都应连在垂直的柱上［见图2-18（b)，图中长度尺寸为mm］。

不含惰性气体的氮可按下式制得：

$$(NH_4)_2SO_4+2NaNO_2 = 2N_2\uparrow +Na_2SO_4+4H_2O$$

在圆底烧瓶中加入50g $(NH_4)_2SO_4$饱和溶液，塞上塞子。在它上面插有滴液漏斗和排气

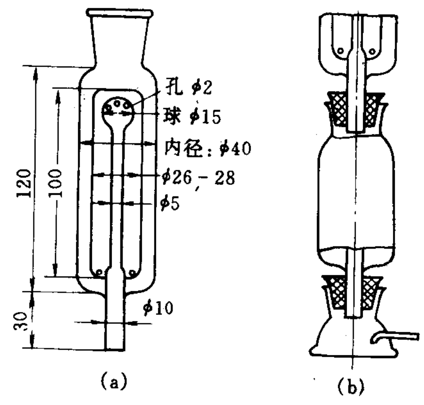


图 2-18 用 VCl_2 溶液提纯氮气的吸收装置

管。将装有溶液的烧瓶放在水浴上加热，然后经滴液漏斗滴加 50g$NaNO_2$ 饱和溶液，排出气体的速度可通过滴加 $NaNO_2$ 溶液的速度来调节。

待装置中的空气被完全置换出之后，再将所得气体收集到贮气器中。至于除去氧及少量氮的氧化物杂质，可以采用上述任何一种方法。

（四）氯气制备与纯化

制备氯气均应在通风处进行，以免中毒。

制备氯的最老的方法之一是用 MnO_2 来氧化盐酸：

$$MnO_2 + 4HCl \xlongequal{\triangle} MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

在容积为 1L 的烧瓶中加入 100gMnO_2（工业品），其规格为 ϕ（10～15）mm，再经漏斗加入 500mlHCl（相对密度 1.19）并开始慢慢加热，然后逐渐强烈加热。为除去酸雾使出来的气体通过装有水的洗瓶。

为在填装 MnO_2 时不至打碎烧瓶，最好是将烧瓶预先充满水，而在加酸前又将它倒出。

制备氯的类似的方法是用 NaCl 和 H_2SO_4 混合物来代替盐酸：

$$MnO_2 + 2NaCl + 3H_2SO_4 = MnSO_4 + 2NaHSO_4 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

在 6 份化学纯的 MnO_2 和 3 份 NaCl（化学纯）的混合物中加入 20 份热的稀（1＋1）H_2SO_4。在反应结束时将混合物加热是有益的，出来的氯气中几乎不含水，但含有少量的氯化氢。

为制得大量的氯（也可控制为少量）用漂白粉和盐酸进行反应是相当方便的：

$$CaOCl_2 + 2HCl = CaCl_2 + Cl_2\uparrow + H_2O$$

往启普发生器的中部球里放入一些漂白粉小块，并加入盐酸（相对密度：1.12）。为将所得的气体进行提纯，可使它通过装有水及浓 H_2SO_4 的洗瓶。若长时间停止工作，最好将酸从设备中倒出。因为它在溶解氯时，逐渐充满中间球部，因此在重新工作时会放出氯气。短时间停止工作时，可经通气管鼓入空气，从设备赶走氯气。

漂白粉块可由新鲜的漂白粉压制而成或 1 份纯漂白粉与 0.25 份纯的医用石膏及少量水混合而成，以上所采用的几种漂白粉均有出售。

上述三种方法制得氯均含有少量的氧杂质。

欲将含有少量 O_2、N_2、HCl、H_2O 等杂质的工业氯气（钢瓶装）提纯，可先使气体通过二个装有浓硫酸的洗瓶，然后通过 CaO 柱（以除去 HCl）和 P_2O_5 管。为除去 O_2 和 N_2，将氯液化，使气体冷凝在用干冰及丙酮冷却到－78℃的受器中，其不凝性气体（主要是氧）用泵抽去。然后将氯蒸发并重新冷凝，这样的操作重复几次后，再在真空及空气液化温度下，采用微分蒸馏方法，收集其中间馏分。这样可以达到彻底的提纯。

（五）二氧化碳制备与纯化

利用酸与碳酸钙相互作用来制备 CO_2 是最常用的方法：

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

该反应能够很方便地在启普发生器中进行。在仪器的中间球部放置规格为（2—3）cm 的大理石块，并通过球的上部注入稀（1＋1）盐酸，反应生成的气体通过装有水和浓 H_2SO_4 的玻璃瓶以除去微量的 HCl 和进行干燥。

欲制备一点也没有空气的CO_2，应将大理石块预先与水共沸几小时，并趁湿时装入反应器中。最后为了除去二氧化碳中的极微量的氧，将它通过装有赤热的铜丝或活性氧化铜（参看“氮气制备与纯化”）的管子，使氧燃尽。

将酸式碳酸钠加热时可制得很纯的CO_2。

$$2NaHCO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2CO_3 + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

称取一定量的$NaHCO_3$（化学纯）放入耐高温玻璃制作的长试管中。接上真空并在封闭端加热，使生成的气体通过能够吸收水分的$NaHCO_3$层。为使气体彻底干燥，应使它通过灼烧过的$CaCl_2$或P_2O_5。

CO_2也可由市售的钢瓶装的液体CO_2制得。液体CO_2比较纯（含量：98%～99%），但都含有少量的O_2、N_2和CO，有时含有微量的H_2S、SO_2和机油。为进行提纯，可将气体通过2个装有5%～7%的$CrSO_4$或$VOSO_4$溶液的洗瓶。为吸收H_2SO_4飞沫，将气体通过装满了$KHCO_3$块的U型管。为了除去微量的H_2S，使气体通过装有经$CuSO_4$溶液浸过的浮石U形管，然后进行干燥，使它通过装有浓硫酸的洗瓶。最后为除去极少量的氧，使它从活性氧化铜（参看“氮气制备与纯化”活性铜法）上通过。

为除去CO，使气体在红热温度下通过包着氧化铜粉末的石棉层。这些氧化铜石棉层放在直径为（25～30）mm的耐高温玻璃管中，该管是用管式炉进行加热的。

（六）一氧化碳制备与纯化

制备一氧化碳应在负压下进行工作。

将甲酸与浓硫酸一起加热时可制得一氧化碳（浓硫酸起脱水作用）：

$$HCOOH \xlongequal{\triangle} CO\uparrow + H_2O$$

在装有滴液漏斗及排气管的烧瓶中加入100mlH_2SO_4（相对密度：1.84），并加热到100℃，停止加热，经滴液漏斗逐滴加入（25～30）ml85%的甲酸（工业品）。排出气体的速度用加酸的速度来控制，当出来的气体变慢时，可将烧瓶稍稍加热（若速度太慢可用灯焰加热）。反应能够十分平稳地一直进行到底。

一氧化碳也可由草酸制得，但这时气体中含有CO_2：

$$H_2C_2O_4 \xlongequal{\triangle} CO\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

在圆底烧瓶中加入270mlH_2SO_4（相对密度：1.84）和100g$H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$。烧瓶安装在石棉网上并用灯焰加热，当刚有气体逸出时，将灯移开，因为该反应进行的相当激烈。

反应出来的CO中含有CO_2、空气和水份，为除去CO_2，使气体通过二个装有30%KOH溶液的洗瓶和一个装满一半钠石灰颗粒和固体KOH的管子（长40cm），空气中的氧在气体通过连二亚硫酸钠（$Na_2S_2O_4$）溶液时能够被吸收。为进行干燥可使气体通过灼烧过的$CaCl_2$或浓H_2SO_4，最后通过P_2O_5。

市售钢瓶装的一氧化碳可能含有CO_2，O_2，H_2，CH_4，N_2和$Fe(CO)_5$。欲进行提纯，使气体通过装有KOH溶液洗瓶和装有固体KOH的柱子。为除去氧和羰基铁，再使气体缓慢地通过加热到600℃的铜丝或加热到200℃的活性铜（参看“氮气制备与纯化”），至于除去H_2、CH_4和N_2等杂质，可采用液化气体多次分馏法或气体吸附的色谱分离法除去。

（七）一氧化氮制备与纯化

利用金属铜与稀硝酸作用时，能够较顺利地制得一氧化氮：

$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

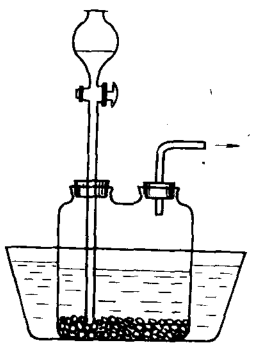


图 2-19 一氧化氮制备装置

将铜屑（或铜丝、铜刨花）放入二口瓶（图 2-19）或启普发生器中。然后经滴液漏斗缓慢地加入 HNO_3（相对密度 1.10～1.15）。不许可明显地加热混合物，以避免生成别的氮的氧化物。因此建议用冷水冷却反应瓶。开始时，瓶中出现的棕色二氧化氮蒸气是由于空气中的氧气氧化 NO 所生成的。

为除去氮的高氧化物及 HNO_3 酸雾，将 NO 气体通过装有 5%NaOH 溶液的洗瓶，并在水上收集起来。必要时，将气体通过装有固体 KOH 的管子进行干燥。

（八）乙炔的制备与纯化

利用电石与水反应制得乙炔：

$$CaC_2+2H_2O=C_2H_2\uparrow+Ca(OH)_2$$

在装有滴液漏斗和气体导出管的 1L 圆底烧瓶中，放置 100gCaC_2，在水冷却下，从滴液漏斗慢慢滴加水，生成的乙炔经过洗气瓶精制，根据不同的要求，洗气瓶中可装 50%KOH 溶液（除去 CO_2 等酸性杂质）或铬酸溶液（除去 H_2S 等还原性杂质）。

可通过 $CaCl_2$、H_2SO_4 或 P_2O_5 干燥。乙炔中微量的丙酮可用亚硫酸氢钠浓溶液洗脱，或通过活性炭吸附除去。

第十一节 贵重试剂（汞、银、铂、铀）及某些有机溶剂的回收与净化

一、贵重试剂（汞、银、铂、铀）的回收与净化

（一）汞的回收与净化

1. 汞残渣的回收 处理实验室中的汞残渣可以采用下述简便方法：蒸发汞残渣至干再与硝酸共热，使之完全溶解，将溶液加热蒸发至干，用水提取后过滤保留滤液（Ⅰ）残渣再加入王水，重新蒸发至干。将残余物溶于热水中，过滤，并将滤液与滤液（Ⅰ）合并，以盐酸酸化后用硫化氢饱和之。获得的硫化物沉淀在加热下用多硫化铵处理，重新过滤，剩余的金属硫化物（如汞、铜、铅、镉、铋等硫化物）以稀盐酸洗涤并加热到不再析出硫化氢时为止，再用水洗涤以上硫化物沉淀（基本上为硫化汞）至酸性反应消失后溶于王水中。将溶液蒸发至干，用水提取，过滤，向滤液中加入氢氧化钾溶液。充分用水洗涤析出的氧化汞沉淀，然后再用一般方法加工使其转变为汞盐。

2. 汞的净化 为了提纯用于高纯物质的极谱分析，气体分析扩散泵，电解溶样，合金组成分析的高纯汞，可用工业纯汞或废汞作原料，经过电解、抽洗、洗涤、过滤和真空蒸馏等处理，回收提纯适用的高纯汞。

电解法可以把溶于汞并形成汞齐的杂质元素除掉。汞中的机械杂质，可以用玻璃丝漏斗或用一般漏斗以针扎有小孔的漏纸或多层纱布过滤除去。溶解在汞中的少量活泼金属可以用在水或酸中以空气抽洗氧化的方法除去。用稀硝酸可以洗掉汞中的氧化物。真空蒸馏是制取高纯汞的最后手段。

（1）电解法

①原理 汞在 1mol·L^{-1}硫酸中，控制电压约（280～300）V，输出电流在（150～200）mA 之间，在不断剧烈搅拌下电解至汞盐析出（一般约需 2h）。反复电解三次，即能得到阴极

所需之纯汞。

电解装置如图 2-20 所示。

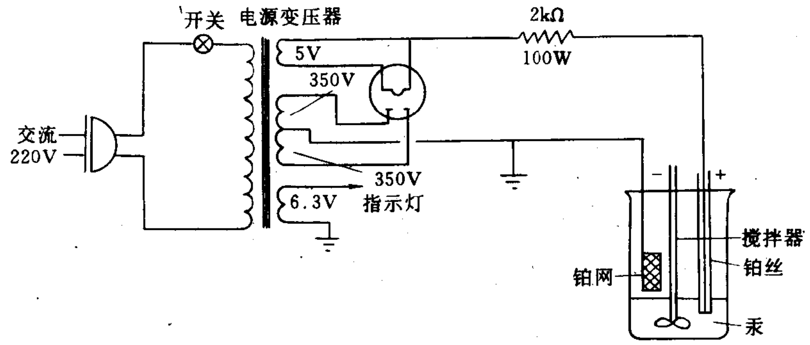


图 2-20　电解汞装置图

②操作方法　将极谱分析后之汞（5～7）kg 置于 1000ml 烧杯[1]中，用水漂洗几次，用四层医用纱布将汞过滤入 800ml 烧杯中，再用水漂洗几次（可利用抽气水泵吸水，但应防止将汞吸出）。倾入 500ml 1mol・l^{-1}硫酸，按图 2-20 所示紧靠烧杯壁接上阴阳极。开动电动搅拌器以剧烈搅动杯底的汞，然后开启整流器电解，直至烧杯中明显地析出浑浊的汞盐为止，为时约需 2h。关闭搅拌器及整流器。按上述手续反复漂洗，电解三次即能得到阴极所需之纯汞。

将经过三次电解的汞，用水泵吸去硫酸，用水精漂，此时会析出一些白色或草绿色盐类，可加入 EDTA 二钠 0.5g 帮助漂洗并搅拌之。最后用（40～50）℃的温水漂洗几次以洗去多余的 EDTA 二钠，直至汞层表面清洁光亮为止。用水泵吸去最后一次漂洗的水后，用干滤纸吸去残余之水珠。

最后将汞用两层干纱布过滤入干燥的广口瓶中备用。

注意事项　a. 电解时应注意安全，应在准备工作完成后再开启整流器。凡要触及电解池硫酸及电极等操作时，必须先切断整流器电源。b. 铂网阴极也可用铂坩埚盖代替，经电解后，电极上会沉积不少金属，可用 1＋3 热硝酸溶去汞及一部分杂质，其余杂质可用焦硫酸钾在 500℃的高温炉中熔融处理。c. 电解时阴极应在硫酸中，阳极应插入汞中，不可接反。

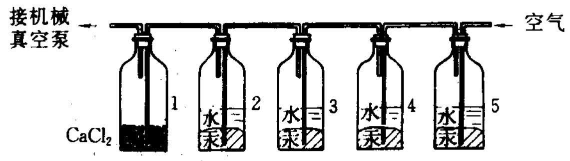


图 2-21　抽洗汞装置示意图

1—容积 3L 干燥、缓冲瓶（内装少量 $CaCl_2$）；2、3、4、5—容积 3L 的抽洗瓶（内装 1L 水，1L 汞）

（2）抽洗　提纯工业纯、极谱分析或气体分析用过的汞时，因为其中活泼金属很少，仅用抽洗法便能将它除去。对于含汞齐较多的汞，经过电解处理之后，仍有少量残存的汞齐，宜用抽洗法进一步除去。

在图 2-21 所示的抽洗装置中进行抽洗。由于空气将溶于汞中的少量活泼金量氧化为氧化物，并随气泡上升带到上层水或酸中。若汞中汞齐很少，只需用水抽洗，每抽洗（3～4）h 更

---

[1] 用质量较好烧杯并放在瓷盘中。

换一次水，直至经过抽洗，上层水中不再出现混浊物时为止，大约需要 24h。若汞中汞齐含量较多，则经抽洗后水层混浊物（为汞齐被氧化而产生的氧化物）很多，需要用 $1mol \cdot L^{-1}H_2SO_4$ 或 5%硝酸抽洗两次，每次（1～2）h，然后再用水抽洗。在容积 3L 的抽洗瓶中加入汞 1L，水 1L。抽洗之后的汞再进行下一步的洗涤处理。

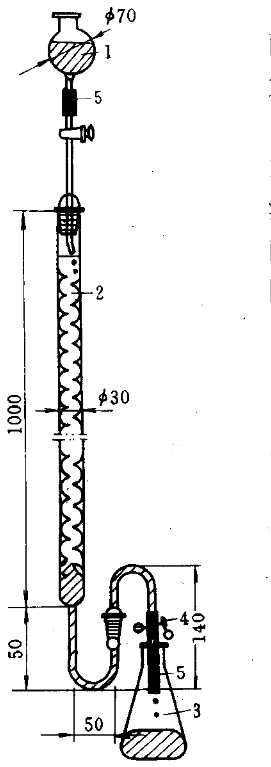


图 2-22　汞洗涤装置

1—加料漏斗；2—洗涤柱；3—接受瓶；4—鱼尾夹；5—无硫橡皮管

（3）洗涤　将经过抽洗的汞，用一般漏斗和普通定性滤纸过滤两次。第一次过滤用的滤纸用普通针将折叠过的滤纸上穿一些小孔；第二次过滤用的滤纸用细针穿一些更小的孔。

在图 2-22 所示的洗涤柱 2 中加入 5%的试剂硝酸，由加料漏斗 1 中加入经过过滤的汞，转动活塞使汞呈细碎的汞滴放入洗涤柱中，滴下的汞经过 U 形弯管流入接受杯 3 中。洗完汞后，将洗涤柱中硝酸倒出，用纯水将其洗净，再加入纯水将汞用同样的方法洗涤两次，除去汞表面的酸。如果酸洗不净时，在下一步的真空蒸馏时，汞容易被残留的酸氧化而污染。将洗净的汞再用四层细纱布过滤一次，并用滤纸将汞表面上的水吸去，然后可进行下一步的真空蒸馏。

（4）真空蒸馏　真空蒸馏器如图 2-23 所示。汞真空蒸馏器是用硬质玻璃制做的。由加汞瓶、加料管、蒸馏釜、冷凝器、出料管、真空泵、调压变压器和蒸馏器固定板等部分组成。将欲蒸馏的汞，注入加汞瓶 7 中，将加汞瓶的位置提高，汞便沿加料管 6 进入蒸馏瓶中，汞加至蒸馏瓶容积的 1/2 左右为止。蒸馏器外缠绕直径为 0.4mm 的镍-铬丝，其电阻为 120Ω，加热电源用 1000V·A 调压变压器控制。为了避免热量损失，于蒸馏瓶外用石棉灰包好，石棉层厚度约 10mm 并留下观察孔 4，用来观察蒸馏瓶内汞的多少、蒸馏情况和测量温度。加料完毕后，降低加料瓶，并接通电源开始加热。同时开动机械真空泵，使支管 10 通过真空橡皮管与真空泵接通，旋转三通活塞 K_1 使真空泵和蒸馏器接通。当仪器内真空度达（4.67～6.67）kPa（35～50mmHg）时，即真空表指示为（94.67～96.67）kPa（710～725mmHg）时，旋转 K_1 切断真空泵。当温度计指示的温度达（120～140）℃时，汞开始蒸出，将电源电压调至（150～160）V 进行蒸馏。旋转活塞 K_2 将蒸出的汞放至接受瓶 14 中。蒸馏速度控制为 $0.5kg \cdot h^{-1}$。每蒸馏（3～4）h，切断电源，使仪器冷却后，再加料。为了防止磨口处漏气，应当抹上一层真空油。注意出料管 12 必须插入瓶 13 的汞层下面，加汞瓶 7 中要有一定量的汞，否则将破坏仪器的真空状态。蒸馏过程中应当随时检查系统防止漏气。蒸馏一段时间后，若发现仪器内壁被黑色物质覆盖，则应拆下仪器用硝酸洗除。用此法蒸馏一次之后的汞一般可以满足高纯极谱分析和气体分析的要求。如果需要纯度更高的汞，则可以在该仪器中做二次蒸馏，蒸馏方法同上。最好具备两套蒸馏器，分别做一次和二次蒸馏之用。

（二）银的回收

1. 从银的卤化物（AgCl、AgBr、AgI）中回收

将银的卤化物用 13%～16%的 HNO_3 浸泡一昼夜，然后滤出，并用水洗涤。将沉淀与水一起搅匀，所得悬浮物用 H_2SO_4 酸化，直到刚果红呈弱酸性时为止，然后加入锌粒（每 1kgAgCl 加 235g；1kgAgBr 加 175g；1kgAgI 加 140g）靠反应放出的热使混合物逐渐被加热，大多数

锌被溶解，而银呈粉末状析出。当粉末状的试样在经水仔细洗涤后，能完全溶解在HNO_3中时，反应即可结束。否则再往反应混合物中添加10%的Zn，并在水浴上加热几小时。

反应结束后，将银粉放在布氏漏斗上抽滤，用水反复洗涤直到没有Cl^-或Br^-或I^-时为止。再用10%的H_2SO_4处理以溶解过量的Zn，然后用水洗到无SO_4^{2-}时为止，最后在80～100℃下干燥。产率接近100%。

2. 从银的残渣中（实验室、照像馆及其他地方）回收

在盐酸存在下将此类残渣与颗粒状的锌一起煮沸，没有溶解的锌用瓷铲取出，还原出来的银用水倾析洗涤，并溶解在硝酸中，然后再用盐酸沉淀出AgCl，最后将它照上述方法1.进行还原。

经洗涤和干燥过的粉状银可直接溶于硝酸制成硝酸银。为此，将110g银一部分一部分地（每次约50g）溶解于适当体积的稀硝酸（1+1）内；溶液蒸发到干涸。将得出的硝酸银溶解于水中，过滤并用水稀释至1L浓度为1mol·L^{-1}。

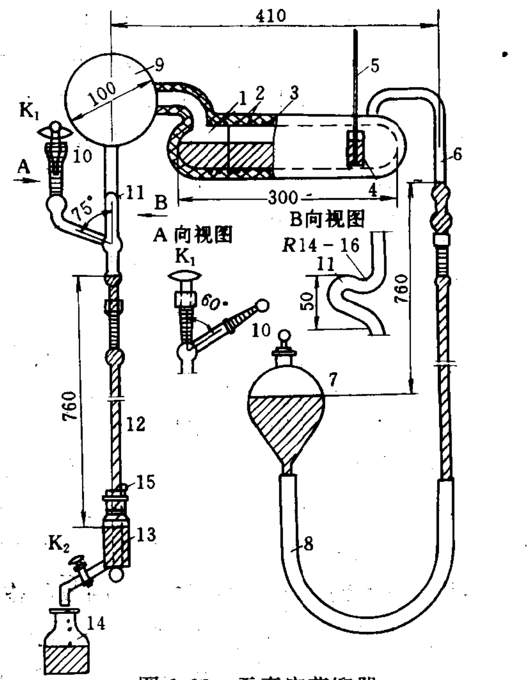


图 2-23　汞真空蒸馏器

1—汞蒸馏瓶：ϕ50×300；2—电阻丝（直径为0.4mm）：400W，内阻120Ω；3—石棉保温层，厚10mm；4—观察孔：15×45；5—温度计：0—250℃；6—加料管：ϕ10×920；7—加汞瓶：ϕ140；8—橡皮联结管：ϕ15×600；9—冷凝球；10—抽真空支管；11—汞冷却弯管；12—出料管；13—储汞瓶：ϕ34×74；14—汞接受瓶：ϕ100×100；15—连通大气出孔

（三）测定钾（K^+）后残余物中铂的回收❶

为了从含有氯铂酸钾和氯铂酸钠的酒精水溶液中分离铂。蒸发溶液至剩余少量溶液〔注意不应蒸干，以免形成爆炸性的乙烯氯化亚铂$(C_2H_4)PtCl_2$〕。在残渣上加以含8%～10%甘油的6mol·L^{-1}氢氧化钠溶液，沸腾。甘油将铂还原成黑色的金属粉末沉淀：

$$2C_3H_8O_3+6H_2PtCl_6+6H_2O=36HCl+2CO_2+3H_2C_2O_4+6Pt$$

当溶液褪色时，将其过滤，用100ml中含1ml盐酸和1g氯化铵的溶液洗涤铂沉淀。将沉淀干燥、灼烧以分解有机化合物；在不沸腾的水浴上微微加热溶解于由1份硝酸和4份盐酸组成的混合液中。将溶液用等体积的水稀释并蒸发到呈糖浆状，重新加水，注入等体积的盐酸并重新蒸发。将残渣溶解在尽可能少量的水中，使溶液的铂浓度接近于0.05g·ml^{-1}加热到沸腾，在100ml溶液中注入50ml 20%氯化铵溶液，其反应如下：

$$H_2PtCl_6+2NH_4Cl=(NH_4)_2PtCl_6+2HCl$$

为使氯铂酸铵沉淀完全，加等体积乙醇并放置数小时以上，然后将氯铂酸铵沉淀滤出

❶ 从含金属铂废弃物中回收铂的方法：把含金属铂废弃物加热溶于王水。一次溶解不完，需反复两三次。过滤，水洗滤渣。滤液与洗液合并。在蒸发皿中蒸干。加水及等体积的盐酸再蒸发至干。在残渣中加极少量盐酸湿润后，加适量水溶解，过滤，用热水洗涤滤渣。洗液与滤液合并。并转移至适当容积的容器内，用金属锌（棒状）处理，直到不再有白色粒子沉淀，还原便已完全。所析出的金属铂沉淀仔细用水洗涤（倾泻）到除去游离酸和锌离子，将洗涤过的沉淀烤干，并在耐灶或石墨坩埚内熔融以得到金属铂。

(带残渣的溶液应当很好地冷却)，先用 20%氯化铵溶液，然后用 95%酒精或冰水洗涤。干燥沉淀，在瓷坩埚中灼烧，先用小火，慢慢加大火力，其时发生下列反应而形成金属铂：

$$(NH_4)_2PtCl_6=2NH_4Cl+2Cl_2+Pt$$

将所得到的海绵状铂溶解于王水中，在水浴中蒸发到糖浆状，注入水，搁置一会，然后小心地注入等体积盐酸，重新蒸发。这样重复处理 3—4 次（为了使亚硝基氯化铂分解）。残渣加水溶解。通氯气至饱和。最后再蒸干。溶于水，过滤。再蒸干。

当铂溶解在王水中时，除氯铂酸外，还形成四氯络亚铂酸和亚硝基氯化铂 $(NO_2)_2PtCl_6$，四氯络亚铂酸使溶液呈深褐色。这些杂质对试剂铂是有害的，因为有它们存在时，使钾的分析结果偏低。与水一起蒸发时，亚硝基氯化铂按下式分解：

$$(NO_2)_2PtCl_6+H_2O=NO_2+NO+H_2PtCl_6$$

由于一部分 $NO_2(N_2O_4)$剩留在溶液中，所以

$$N_2O_4+H_2O=HNO_3+HNO_2$$

硝酸和亚硝酸与溶液中的盐酸形成亚硝酰氯(NOCl)，后者又重新形成亚硝基氯化铂。所以为了分解上述物质，可如上所述反复地用水和盐酸处理溶液，一直到不再放出亚硝酸蒸汽为止。在亚硝酸蒸汽蒸发之前，为了氧化四氯络铂酸中的二价铂可用氯饱和溶液。

最后，将氯铂酸结晶溶解于 100ml 含 1ml 盐酸的水中，适当地稀释后，就可得到所需浓度的试剂。氯铂酸的水溶液呈纯黄色。氯铂酸的褐红色的晶体吸湿性非常大。

（四）测定钠(Na^+)后的残渣中回收乙酸铀酰锌

将分析后的沉淀置于大瓷皿中，徐徐注入相对密度 1.4 的硝酸至沉淀溶解，与此同时加热蒸发溶液，直到出现结晶硬膜时为止。静置 24h，吸滤析出的结晶，然后在加热下将所得结晶物重新溶于水中（水的用量只要盖住结晶就够了），并放置过夜，使之结晶，滤去结晶，将两次滤去结晶后的滤液合并，向其中加入为滤液体积 10%～15%的硝酸（相对密度 1.4）。用适量水稀释后，在加热下以过量的氨水沉淀之，吸滤沉淀，以稀氨水洗涤，再次溶于硝酸，再用氨水沉淀，重复此操作三次，然后倾出无色滤液，而将含有铁和铝之氢氧化物的铀酸铵沉淀，在(60～70)℃干燥之。为了除去杂质，将干燥后的物质磨碎，然后放入瓷皿中，倾入 800ml 水，并在加热下加入（120～150）g 碳酸铵，继续加热并搅拌之，直到铀酸铵完全溶解为止。

滤去氢氧化铁和氢氧化铝沉淀；于滤液中缓慢加入硝酸至呈微酸性后，煮沸溶液并以氢氧化铵沉淀之。将制得的铀酸铵[$(NH_4)_2U_2O_7$]于(60～70)℃下进行干燥。

欲制取乙酸铀酰锌溶液时，可向 20g 铀酸铵中加入 150ml 水及 22ml60%的乙酸溶液，并在搅拌下加热至完全溶解，同时另取 68g 乙酸锌[$Zn(CH_3COO)_2\cdot H_2O$]溶于 75ml 水和 5ml 乙酸的混合液中。将上述两溶液同时加热后合并在一起，静置 24h，然后滤出沉淀。滤液即可用作钠的分析试剂。

二、有机溶剂的回收

（一）异丙醚的回收

1. 化学光谱法测定镓、铟中杂质用异丙醚的回收　用重蒸蒸馏水和 10%的氢氧化钠洗涤待回收的异丙醚废液，除去生成的镓、铟的氢氧化物。检查并除去过氧化物。最后 2 次蒸馏提纯。将 500ml 废醚液置于 1L 分液漏斗中，加入 100ml 蒸馏水，摇荡几分钟，静置分层后弃去水层。加水 50ml10%氢氧化钠溶液，摇荡，弃去析出的白色沉淀（收集起来，回收镓和铟），重新加入 10%氢氧化钠 50ml 并摇荡，分出水层。这个操作直到经萃取后，水相不再出

现白色沉淀时为止。最后用重蒸蒸馏水洗涤 2 次，每次用水量为 200ml。然后，按照异丙醚的提纯步骤进行处理。

2. 低沸点物的处理　在蒸馏时收集积累的低沸点物，经处理后，可以从中回收一部分合格的异丙醚。可用高锰酸钾溶液洗除还原性杂质，再用亚铁溶液洗除高锰酸钾和过氧化物，用碱液洗除杂质酸，经无水氯化钙或碳酸钾脱水后进行两次蒸馏除去金属杂质。将 500ml 待处理的异丙醚置于 1L 分液漏斗中，加入 100ml 重蒸蒸馏水，摇荡，静置分层后，分出水层。加入 50ml0.002mol・L^{-1}高锰酸钾溶液，摇荡，静置分层后，弃去水层。重复这一操作，直至与高锰酸钾振荡后高锰酸钾的紫色不褪时为止。加入 100ml 重蒸蒸馏水洗除高锰酸钾，然后加入 15ml20％硫酸亚铁溶液洗涤（2～3）次，用重蒸蒸馏水洗 1 次，用 40ml5％的碳酸钠洗 1 次，再用重蒸馏水洗 2 次（每次用水量为 100ml）。分出水层后，在醚中加入固体碳酸钾脱水，放置过夜，蒸馏之。收集沸程为（67～69）℃的馏出液，保存于棕色磨口瓶中。

（二）乙酸乙酯的回收

将使用过的乙酸乙酯废液放在分液漏斗中水洗几次，然后用硫代硫酸钠稀溶液洗涤几次使之褪色，再用水洗几次后，用蒸馏法提纯之。

（三）三氯甲烷(氯仿)的回收

将废氯仿分别用水、浓硫酸、盐酸羟胺溶液在分液漏斗中洗涤后，按上法干燥并蒸馏 2 次。将废氯仿用自来水冲洗，除去水溶性杂质。取水洗过的氯仿 500ml 置于 1L 分液漏斗中，加入 50ml 浓硫酸，摇荡几分钟，静置分层后，弃去下层硫酸，重复这一操作至摇荡过的硫酸层中呈现无色时为止。然后用重蒸蒸馏水洗涤氯仿两次，每次用水 200ml。再用 0.5％盐酸羟胺溶液（分析纯）50ml 洗涤（2～3）次后，用重蒸蒸馏水洗两次。将洗涤好的氯仿按上法干燥并蒸馏两次即得。

如果氯仿中杂质较多，可在自来水洗涤之后，预蒸馏 1 次除去大部分杂质，然后再按上法处理。这样可以节约试剂用量。对于蒸馏法仍不能除去的有机杂质可用活性炭吸附纯化。

（四）四氯化碳的回收

1. 含有双硫腙的四氯化碳　先用硫酸洗一次，再用水洗 2 次，除去水层，用无水氯化钙干燥，在水浴上蒸馏出四氯化碳。

2. 含有铜试剂的四氯化碳　将废四氯化碳放入蒸馏瓶中，于水浴上在 80℃进行蒸馏回收，用无水氯化钙干燥，过滤备用。

3. 含碘的四氯化碳　在废四氯化碳中，滴加三氯化钛至溶液呈无色，再加水〔体积比为 2（有机层）：4（水层）〕洗涤（1～2）次，分层后，放去水层，有机层在 80℃蒸馏回收复用。或用活性炭吸附，使呈无色，抽滤后，再依次洗（1～2）次，有机层于 78℃蒸馏回收复用。

（五）苯的回收

1. 含丁基罗丹明 B、结晶紫或孔雀绿或其他碱性染料的苯　先用硫酸洗一次，再用水洗两次，分去水层，以生石灰或无水氯化钙干燥，再在水浴上蒸馏出苯。

2. 1-苯基-3-甲基-4-苯甲酰基吡唑酮-〔5〕(PMBP)-苯的回收　在废 PMBP-苯液中加入 1＋1 盐酸〔体积比为 3(有机层)：1(水层)〕洗涤(2～3)次，再用水洗(3～4)次，分去水层即可复用。

（六）测定铀后废磷酸三丁酯(TBP)-苯的回收

用后的 TBP-苯废液，用 10％碳酸钠溶液和 2mol・L^{-1}硝酸分别依次各洗（1～2）次，再用水洗（3～4）次，仍可复用。

（七）废二甲苯的回收

将废二甲苯用无水氯化钙干燥后，直接蒸馏回收。收集（136—141）℃馏分。

（八）含有双十二烷基二硫代乙二酰胺（DDO）的石油醚-氯仿和异戊醇-氯仿的回收

将有机层和水层分开后，将有机层用氢氧化钠溶液洗1次，再用水洗2次，除去水层，在有机层中加入无水氯化钙干燥，在水浴上分馏出石油醚和氯仿，再改在油浴上蒸馏出异戊醇。

（九）含硝酸的甲醇的回收

以工业用氢氧化钠溶液慢慢中和硝酸，并在水浴上（64℃左右）蒸馏出甲醇。因一次蒸馏水分很多，故必须进行多次蒸馏，再测定其相对密度（相对密度：0.791）。

（十）其他如萃取锗的苯，苯取铊的甲苯，萃取硒的苯，萃取碲的苯等的回收

可先用浓硫酸或氢氧化钠处理后，再用水洗数次，以生石灰干燥后，于水浴上蒸馏出有机溶剂。

一般处理回收的有机溶剂，使用前必须经过空白或标准显色的试验，如效果良好，方可使用。

第十二节　化合物重要物理化学常数的测定方法

一、熔点的测定[1]

熔点或称熔融温度，即物质由固态熔化成液体的温度或在熔化时自初熔至全熔显示的一段温度。各种物质均有固定的熔点。纯度变更时则熔点改变或熔融温度范围加宽，测定熔点，可以区别或检查化合物的纯杂程度。

化合物熔点测定可用熔点测定仪或熔点浴装置等方法测定。下面是采用熔点浴装置的通用测定法。

本方法适用于结晶或粉末状的有机试剂熔点的测定。

（一）仪器

（1）熔点管　用中性硬质玻璃制成的毛细管，一端熔封，内径（0.9～1.1）mm，壁厚（0.10～0.15）mm，长度以安装后上端高于传热液体液面为准（约100mm）。

（2）测量温度计（用于测定熔点范围）　单球内标式，分度值为0.1℃，并具有适当的量程。

（3）辅助温度计（用于校正）　分度值为1℃，并具有适当的量程。

（4）加热装置　必须使用可控制温度的加热装置。

（5）圆底烧瓶　容积约为250ml，球部直径约为80mm，颈长（20～30）mm，口径约为30mm。

（6）试管　长为（100～110）mm，直径为20mm。

（7）传热液体　应选用沸点高于被测物终熔温度，而且性能稳定、清澈透明、粘度较小的液体作为传热液体。终熔温度在150℃以下的可采用甘油或液体石蜡；终熔温度在300℃以下的可采用硅油。

（二）操作步骤

（1）如图2-24所示，将烧瓶、试管、温度计等以橡皮塞连在一起，烧瓶中注入约其体积

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB617—88《熔点范围测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988.

四分之三的传热液体，并向试管中注入适量传热液体，使其液面与烧瓶中传热液体液面在同一平面。

(2) 将样品研成尽可能细密的粉末，装入清洁、干燥的熔点管中，取一长约 800mm 的干燥玻璃管，直立于玻璃板上，将装有试样的熔点管在其中投落数次，直到熔点管内样品紧缩至(2～3)mm 高。如所测的是易分解或易脱水样品，应将熔点另一端熔封。

(3) 先将传热液体的温度缓缓升至比样品规格所规定的熔点范围的初熔温度低 10℃，此时，将装有样品的熔点管附着于测量温度计上，使熔点管样品端与水银球的中部处于同一水平，测量温度计水银球应位于传热液体的中部。使升温速率稳定保持在 (1.0±0.1)℃・min^{-1}。如所测的是易分解或易脱水样品，则升温速率应保持在 3℃・min^{-1}。

(4)当样品出现明显的局部液化现象时的温度即为初熔温度，当样品完全熔化时的温度即为终熔温度。记录初熔温度及终熔温度。

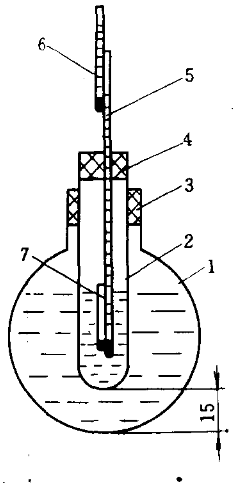


图 2-24 熔点测定装置
1—圆底烧瓶；2—试管；3、4—胶塞；5—温度计；6—辅助温度计；7—熔点管

(三) 结果的表示

如测定中使用的是全浸式温度计，则应对所测得的熔点范围值进行校正，校正值按下式计算：

$$\Delta t = 0.00016\ (t_1 - t_2)\ h \qquad (2\text{—}1)$$

式中 Δt ——校正值，℃；

h ——温度计露出液面或胶塞部分的水银柱高度，℃；

t_1 ——测量计读数，℃；

t_2 ——露出液面或胶塞部分的水银柱的平均温度，℃。该温度由辅助温度计测得，其水银球位于露出液面或胶塞部分的水银柱中部。

二、沸程的测定[1]

本方法适用于沸点在 (30～300)℃范围以内，并且在蒸馏过程中化学性能稳定的液体有机试剂沸程的测定。

本方法系指在标准状况下 (1013.25hPa[2]，0℃)，在产品标准规定的温度范围内的馏出物体积。故又称馏程测定法，馏分测定法。

(一) 仪器

(1) 支管蒸馏瓶 用硼硅酸盐玻璃制成，有效容积 100ml，见图 2-25，图中长度单位为 mm，下同。

(2) 测量温度计 水银单球内标式，分度值为 0.1℃，量程适合于所测样品的温度范围。

(3) 辅助温度计 分度值为 1℃。

(4) 冷凝器 用硼硅酸盐玻璃制成。水冷凝器见图 2-26，空气冷凝器不设冷凝水套管，其余尺寸均如图 2-25 所示。

(5) 接收器：容积为 100ml，两端分度值为 0.5ml，见图 2-27。

[1] 参考中华人民共和国国家标准 GB615—88《沸程测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988.

[2] 1hPa＝1mbar。

(6) 蒸馏瓶外置　横断面呈矩形且上下两端开口，尺寸如图 2-28 所示，用 0.7mm 厚的金属板制成。

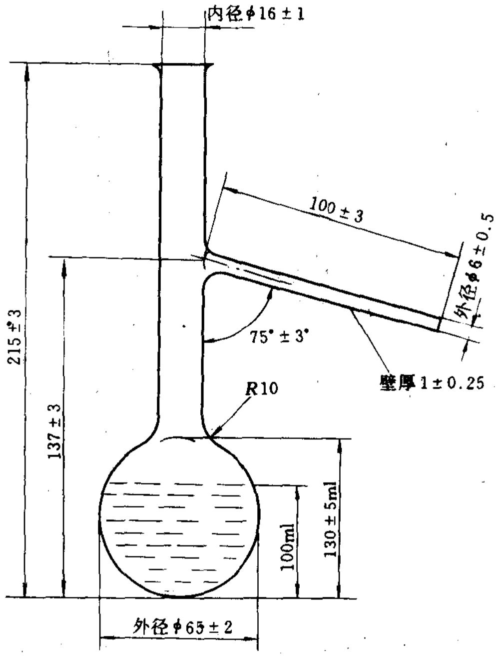


图 2-25　支管蒸馏瓶

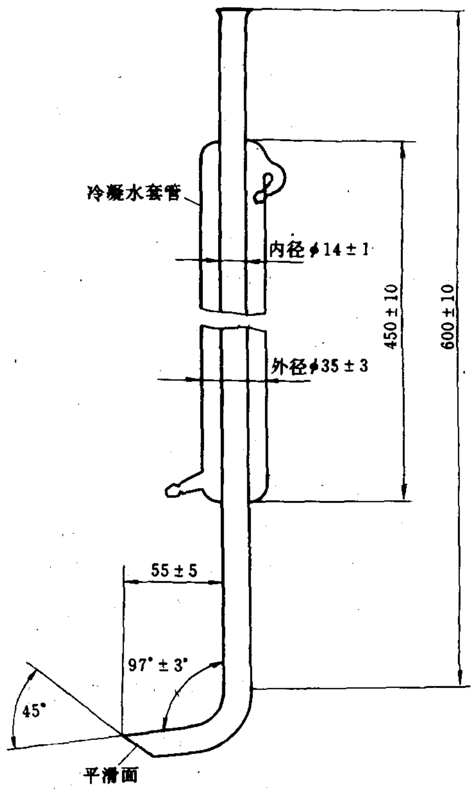


图 2-26　冷凝器

在外罩的正面和后面位于隔热板下方，各有两个直径为 25mm 的气孔。

在外罩各面的底部各有三个中心距底边 25mm 的气孔。位于两侧面中央的气孔直径为 25mm，其余 10 个气孔直径均为 12.5mm。

在外罩的两个侧面上各开有一垂直的槽，用于放置蒸馏瓶的支管，尺寸见图。

硬质隔热板架厚度为 6mm，中央孔径为 110mm，水平安置于罩内，并与罩的内壁密合，以保证热源的热气流不与蒸馏瓶壁或颈部接触。隔热板架用三角形金属板固定于罩内四角。

在外罩正面设一活动门，尺寸如图 2-28 所示，其四周约比开口宽 5mm。

在外罩的正面和后面，各设一云母窗置于正中，其底边与隔热板架顶部水平，尺寸如图 2-28 所示。

(7) 隔热板　厚度为 6mm，边长为 150mm 的正方形，中央孔径为 50mm。

(8) 热源　可使用煤气灯或电加热装置，当样品沸程下限温度低于 80℃时应除去外罩用水浴加热，水浴液面应始终不得超过样品液面。

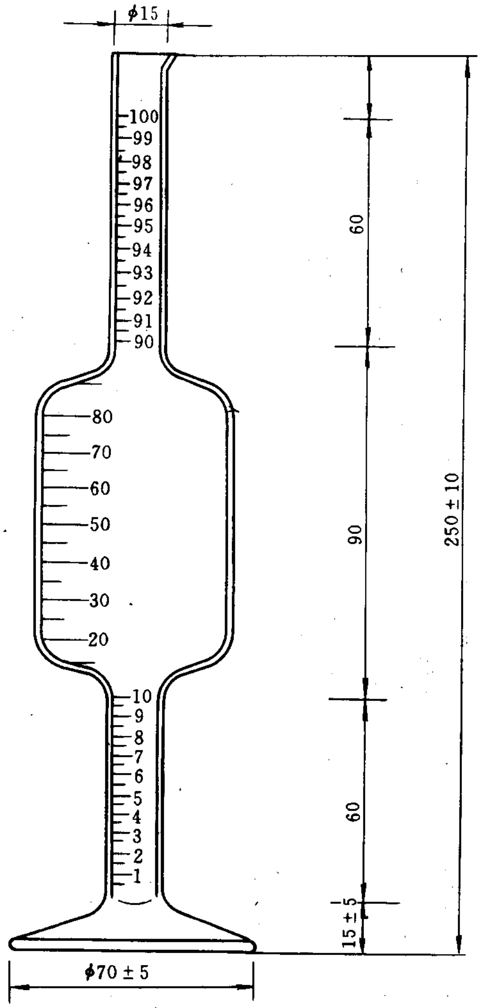


图 2-27 接收器

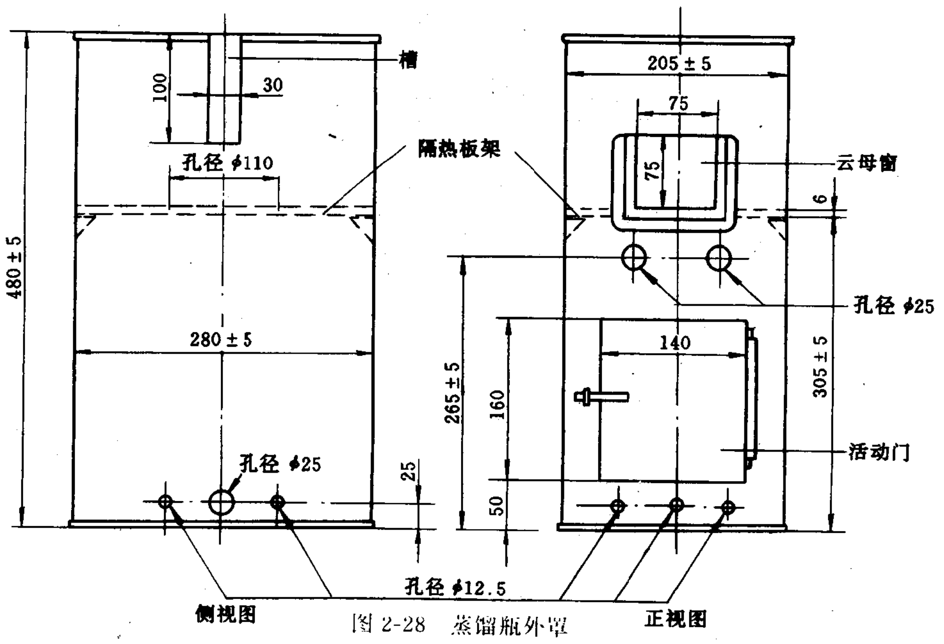


图 2-28 蒸馏瓶外罩

（二）操作步骤

1．仪器的安装　如图 2-29 所示安装蒸馏装置。使测量温度计水银球上端与蒸馏瓶的瓶颈和支管接合部的下沿保持水平。

将隔热板放置在隔热板架上，使两个孔基本上同心。将蒸馏瓶置于隔热板的孔上。

2．气压计读数的校正

（1）温度校正　气压计的读数应先按仪器说明书的要求进行校正，然后从气压计读数中减去表 2-19 所给的校正值，将其校正为 0℃时的气压值。

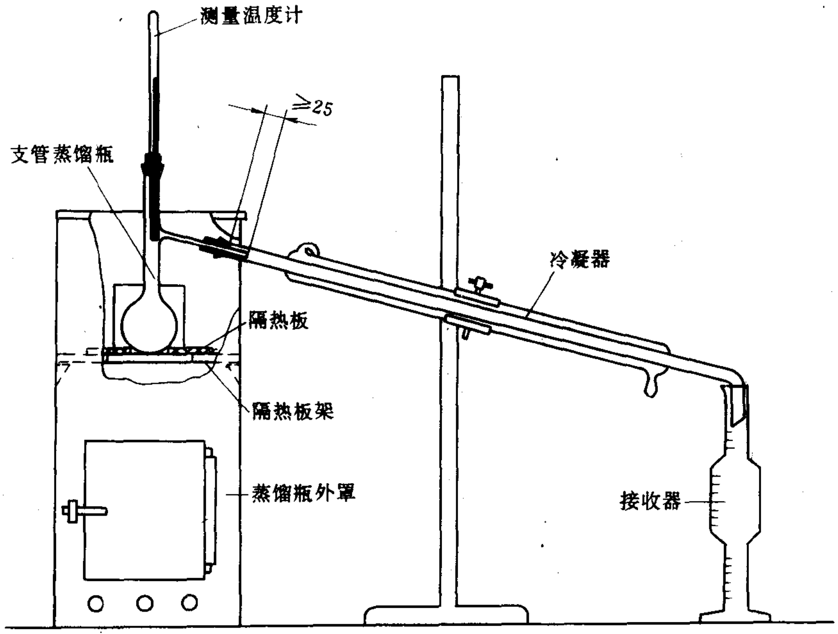


图 2-29　蒸馏仪器安装图

表 2-19　气压计读数的校正值

室温 t/℃	气压计读数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
10	1.51	1.55	1.59	1.63	1.67	1.71	1.75	1.79
11	1.66	1.70	1.75	1.79	1.84	1.88	1.93	1.97
12	1.81	1.86	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15
13	1.96	2.01	2.06	2.12	2.17	2.22	2.28	2.33
14	2.11	2.16	2.22	2.28	2.34	2.39	2.45	2.51
15	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69
16	2.41	2.47	2.54	2.60	2.67	2.73	2.80	2.87
17	2.56	2.63	2.70	2.77	2.83	2.90	2.97	3.04
18	2.71	2.78	2.85	2.93	3.00	3.07	3.15	3.22
19	2.86	2.93	3.01	3.09	3.17	3.25	3.32	3.40
20	3.01	3.09	3.17	3.25	3.33	3.42	3.50	3.58
21	3.16	3.24	3.33	3.41	3.50	3.59	3.67	3.76
22	3.31	3.40	3.49	3.58	3.67	3.76	3.85	3.94
23	3.46	3.55	3.65	3.74	3.83	3.93	4.02	4.12

续表

室温 t/℃	气 压 计 读 数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
24	3.61	3.71	3.81	3.90	4.00	4.10	4.20	4.29
25	3.76	3.86	3.96	4.06	4.17	4.27	4.37	4.47
26	3.91	4.01	4.12	4.23	4.33	4.44	4.55	4.66
27	4.06	4.17	4.28	4.39	4.50	4.61	4.72	4.83
28	4.21	4.32	4.44	4.55	4.66	4.78	4.89	5.01
29	4.36	4.47	4.59	4.71	4.83	4.95	5.07	5.19
30	4.51	4.63	4.75	4.87	5.00	5.12	5.24	5.37
31	4.66	4.79	4.91	5.04	5.16	5.29	5.41	5.54
32	4.81	4.94	5.07	5.20	5.33	5.46	5.59	5.72
33	4.96	5.09	5.23	5.36	5.49	5.63	5.76	5.90
34	5.11	5.25	5.38	5.52	5.66	5.80	5.94	6.07
35	5.26	5.40	5.54	5.68	5.82	5.97	6.11	6.25

（2）纬度校正　将气压计读数加上表 2-20 所给的校正值。

表 2-20　气压计读数的纬度校正值

纬 度	气 压 计 读 数 P/hPa							
	925	950	975	1000	1025	1050	1075	1100
0	−2.48	−2.55	−2.62	−2.69	−2.76	−2.83	−2.90	−2.97
5	−2.44	−2.51	−2.57	−2.64	−2.71	−2.77	−2.84	−2.91
10	−2.35	−2.41	−2.47	−2.53	−2.59	−2.65	−2.71	−2.77
15	−2.16	−2.22	−2.28	−2.34	−2.39	−2.45	−2.51	−2.57
20	−1.92	−1.97	−2.02	−2.07	−2.12	−2.17	−2.23	−2.28
25	−1.61	−1.66	−1.70	−1.75	−1.79	−1.84	−1.89	−1.94
30	−1.27	−1.30	−1.33	−1.37	−1.40	−1.44	−1.48	−1.52
35	−0.89	−0.91	−0.93	−0.95	−0.97	−0.99	−1.02	−1.05
40	−0.48	−0.49	−0.50	−0.51	−0.52	−0.53	−0.54	−0.55
45	−0.05	−0.05	−0.05	−0.05	−0.05	−0.05	−0.05	−0.05
50	+0.37	+0.39	+0.40	+0.41	+0.43	+0.44	+0.45	+0.46
55	+0.79	+0.81	+0.83	+0.86	+0.88	+0.91	+0.93	+0.95
60	+1.17	+1.20	+1.24	+1.27	+1.30	+1.33	+1.36	+1.39
65	+1.52	+1.56	+1.60	+1.65	+1.69	+1.73	+1.77	+1.81
70	+1.83	+1.87	+1.92	+1.97	+2.02	+2.07	+2.12	+2.17

3. 气压对沸程的校正的计算　沸点随气压的变化值按式（2—2）计算：

$$\Delta t_p = CV\ (1013.25 - p) \qquad (2\text{—}2)$$

式中　Δt_p ——沸点随气压的变化值，℃；

CV ——沸点随气压的变化率，（见表 2-21）℃ · hPa^{-1}；

p——经（二）2.（1）和（二）2.（2）校正后的气压值，hPa。

表 2-21　沸程温度随气压变化的校正值

标准中规定的沸程温度 t/℃	气压相差 1hPa 的校正值 CV/℃	标准中规定的沸程温度 t/℃	气压相差 1hPa 的校正值 CV/℃
10～30	0.026	210～230	0.044
30～50	0.029	230～250	0.047
50～70	0.030	250～270	0.048
70～90	0.032	270～290	0.050
90～110	0.034	290～310	0.052
110～130	0.035	310～330	0.053
130～150	0.038	330～350	0.056
150～170	0.039	350～370	0.057
170～190	0.041	370～390	0.059
190～210	0.043	390～410	0.061

观测气压下的沸程温度按式（2—3）计算：

$$t_p = t_0 - \Delta t_p \quad (2—3)$$

式中　t_p——观测气压下的沸程温度，℃；

t_0——产品标准中所规定的沸程温度，℃；

Δt_p——沸点随气压的变化值，℃。

4. 测量温度计读数校正值的计算　若使用全浸式温度计进行测量，则应对水银柱露出塞外部分进行校正。在与测定样品同样的条件下进行蒸馏（按（二）6 的规定），然后按式（2—4）计算水银柱露出塞外部分的校正值：

$$\Delta t = 0.00016h\ (t_p - t_a) \quad (2—4)$$

式中　Δt——水银柱露出塞外部分的校正值，℃；

h——温度计露出塞外部分的水银柱度数，℃；

t_p——观测气压下的沸程温度，℃；

t_a——露出塞外部分的水银柱的平均温度（用辅助温度计测量，其液球应位于主温度计露出塞外部分水银柱高度的中点处），℃。

5. 观测沸程温度的计算　观测沸程温度按式（2—5）计算：

$$t = t_0 - \Delta t_p - \Delta t \quad (2—5)$$

式中　t——观测沸程温度，℃；

t_0——产品标准中所规定的沸程温度，℃；

Δt_p——沸点随气压的变化值，℃；

Δt——水银柱露出塞外部分的校正值，℃。

6. 蒸馏　用接收器量取 100±1ml 样品。若样品的沸程温度范围下限低于 80℃，则应在 5—10℃的温度下量取样品及测量馏出液体积（将接收器距顶端 25mm 处以下浸入 5—10℃的水浴中）；若样品的沸程温度范围下限高于 80℃，则在常温下量取样品及测量馏出液体积；上述测量均采用水冷。若样品的沸程温度范围上限高于 150℃，则应采用空气冷凝，在常温下量取样品及测量馏出液体积。将样品全部转移至蒸馏瓶中，不得使之流入支管，向蒸馏瓶中加入几粒清洁、干燥的沸石，装好温度计，将接收器（不必经过干燥）置于冷凝管下端，使冷凝管口进入接收器部分不少于 25mm，也不低于 100ml 刻度线，接收器口塞以棉塞。并确保向

冷凝管稳定地提供冷却水。调节蒸馏速度，对于沸程温度低于100℃的样品，应使自加热起至第一滴冷凝液滴入接收器的时间为（5～10）min；对于沸程温度高于100℃的样品，上述时间应控制在（10～15）min，然后将蒸馏速度控制在（3～4）ml·min^{-1}。记录观测沸程温度范围内的馏出物体积。

注意：蒸馏应在通风良好的通风橱内进行。

（三）沸程温度校正示例

二甲苯（分析纯）的沸程温度校正。

已知：规定的沸程温度 t_0　　(137—140)℃

室温　　24.5℃

气压（室温下的气压）　　999.92hPa

测量处纬度　　30°

辅助温度计读数 t_a　　35.0℃

胶塞上沿处温度计刻度　　109.0℃

①温度校正　999.92－4.06＝995.86（hPa）

②纬度校正　995.86＋(－1.37)＝994.49（hPa）

③按式（2—2）求出沸点随气压的变化值 Δt_p，然后按式（2—3）计算在观测气压下的沸程温度 t_p：

$\Delta t_p = 0.038(1013.25-994.49) = 0.71$(℃)

137℃：$t_p = 137-0.71 = 136.29$(℃)

140℃：$t_p = 140-0.71 = 139.29$(℃)

④按式（2-4）求出温度计校正值：

136.29℃：$\Delta t = 0.00016(136.29-109.0)(136.29-35.0)$

$= 0.44$(℃)

139.29℃：$\Delta t = 0.00016(139.29-109.0)(139.29-35.0)$

$= 0.51$(℃)

⑤按式（2-5）求出观测沸程温度：

137℃：$t = 137-0.71-0.44 = 135.9$（℃）

140℃：$t = 140-0.71-0.51 = 138.8$（℃）

三、沸点的测定[1]

沸点指液体在101.325kPa时（1atm）的沸腾温度。

本方法适用于受热易分解、氧化的液体有机试剂的沸点测定。

（一）仪器

（1）三口圆底烧瓶　有效容积为500ml。

（2）试管　长（190～200）mm，距试管口约15mm处有一直径为2mm的侧孔。

（3）胶塞　外侧具有出气槽。

（4）测量温度计　内标式单球温度计，分度值为0.1℃，量程适合于所测样品的沸点温度。

（5）辅助温度计　分度值为1℃。

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB616—88《沸点测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988.

（二）测定方法

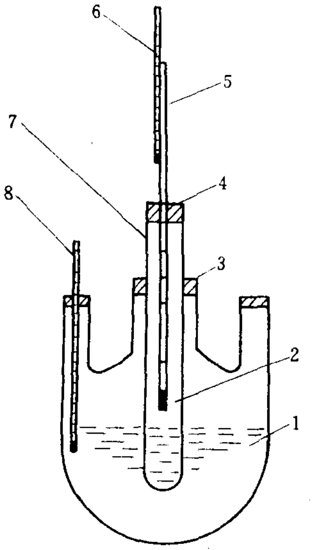


图 2-30　沸点测定装置图
1—三口圆底烧瓶；2—试管；3、4—胶塞；5—测量温度计；6—辅助温度计；7—侧孔；8—温度计

1. 仪器的安装　如图 2-30 所示，将三口圆底烧瓶、试管及测量温度计以胶塞连接，测量温度计下端与试管液面相距 20mm。将辅助温度计附在测量温度计上，使其水银球在测量温度计露出胶塞上的水银柱中部。烧瓶中注入约为其体积二分之一的硫酸。

2. 操作步骤　量取适量样品，注入试管中，其液面略低于烧瓶中硫酸的液面。加热，当温度上升到某一定数值并在相当时间内保持不变时，此温度即为待测样品的沸点。记录下室温及气压。

3. 气压对沸点影响的校正　根据测定时的室温及气压，按式（2—6）换算出 0℃时的气压：

$$p_0 = p_t - \Delta p \qquad (2\text{—}6)$$

式中　p_0——0℃时的气压，hPa；

p_t——室温时的气压，hPa；

Δp——由室温时之气压换算至 0℃时气压之校正值，hPa；校正值见表 2-19。

根据 0℃时的气压与标准气压之差数及标准中规定的沸点温度，按沸程的测定中表 2-21 求出相应的温度校正值。当 0℃时的气压高于 1013hPa 时，自测得的温度减去此校正值，反之则加。

4. 测量温度计读数校正值的计算　若使用全浸式温度计进行测量，则应对温度计水银柱露出塞外部分进行校正。温度计水银柱露出塞外部分的校正值按式（2—7）计算：

$$\Delta t = 0.00016h\ (t_1 - t_2) \qquad (2\text{—}7)$$

式中　Δt——温度计水银柱露出塞外部分的校正值，℃；

h——温度计露出塞外部分的水银柱度数，℃；

t_1——观测温度，℃；

t_2——附着于 $\frac{1}{2}h$ 处的辅助温度计温度，℃。

再按 3. 所得校正后的温度加上此校正值，即得到该样品的沸点温度。

四、密度的测定（比重瓶法）[1]

本方法适用于液体化学试剂密度的测定。

在本方法中，物质的密度系指在 20℃时单位体积物质的质量。密度用 ρ 表示，其单位为 $g \cdot ml^{-1}$。

（一）仪器

（1）分析天平　感量为 0.1mg。

（2）密度瓶（比重瓶）　容积为（15～25）ml，温度计分度值为 0.2℃（见图 2-31）。

（3）恒温水浴　温度可控制在（20.0±0.1）℃。

（二）操作步骤

[1] 参考中华人民共和国国家标准 GB616—88《密度测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988.

将密度瓶洗净并干燥，带温度计及侧孔罩称量。然后取下温度计及侧孔罩，用新煮沸并冷却至15℃左右的蒸馏水充满密度瓶，不得带入气泡，插入温度计，将密度瓶置于（20.0±0.1）℃的恒温水浴中，至密度瓶温度计达到20℃，并使侧管中的液面与侧管管口齐平，立即盖上侧孔罩，取出密度瓶，用滤纸擦干其外壁上的水，立即称量。

将密度瓶中的水倒出，洗净并使之干燥，带温度计及侧孔罩称量。然后用样品代替水重复上述的操作。

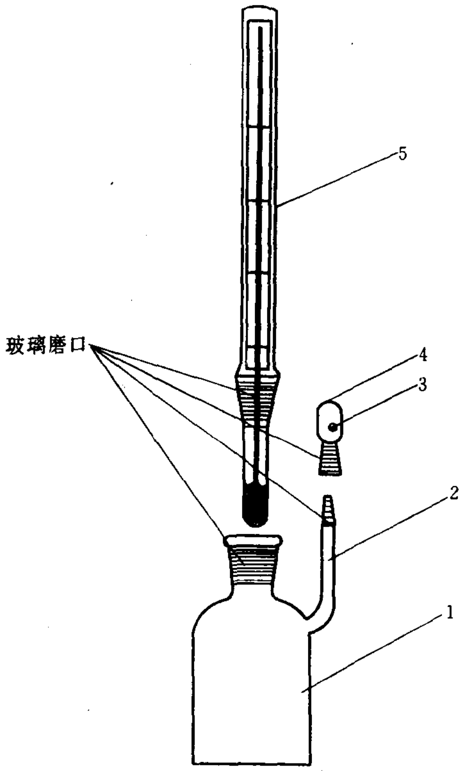


图 2-31 密度瓶（比重瓶）

1—密度瓶主体；2—侧管；3—侧孔；4—侧孔罩；5—温度计

（三）结果的表示

样品在20℃时的密度按式（2—8）计算：

$$\rho=\frac{m_1+A}{m_2+A}\times\rho_0 \qquad (2—8)$$

$$A=\rho_a\times\frac{m_2}{0.9970} \qquad (2—9)$$

式中 ρ——样品在20℃时的密度，$g\cdot mL^{-1}$；

m_1——20℃时充满密度瓶所需样品的表观质量，g；

m_2——20℃时充满密度瓶所需蒸馏水的表观质量，g；

ρ_0——20.0℃时蒸馏水的密度（=0.99820 $g\cdot mL^{-1}$）；

A——空气浮力校正值；

ρ_a——干燥空气在20℃，1013.25hPa❶ 时的密度值（≈0.0012$g\cdot ml^{-1}$❷）。

五、密度的测定（韦氏天平法）❸

本方法适用于液体化学试剂密度的测定。

在本方法中，物质的密度系指在20℃时单位体积物质的质量。密度用ρ表示，其单位为$g\cdot ml^{-1}$。

（一）仪器

（1）韦氏天平 浮锤内温度计分度值为0.1℃。

（2）恒温水浴 温度可控制在（20.0±0.1）℃。

（二）操作步骤

（1）如图2-32所示安装韦氏天平。将浮锤用细铂丝悬于天平横梁末端，并调整底座上的螺丝，使横梁与支架的指针尖相互对正。

（2）将浮锤全部浸入盛有经煮沸并冷却至约20℃左右蒸馏水的玻璃筒中，不得带入气泡，

❶ 1hPa=1mbar。

❷ 该值随气压条件略有变化，但这种变化一般对密度测定没有影响。

❸ 参考中华人民共和国国家标准 GB611—88《密度测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988.

玻璃筒置于恒温水浴中，恒温至（20.0±0.1）℃，调整天平骑码使指针重新对正，记录读数。

（3）将浮锤取出，使其完全干燥，在相同的温度下，用样品代替水重复上述（2）的操作。

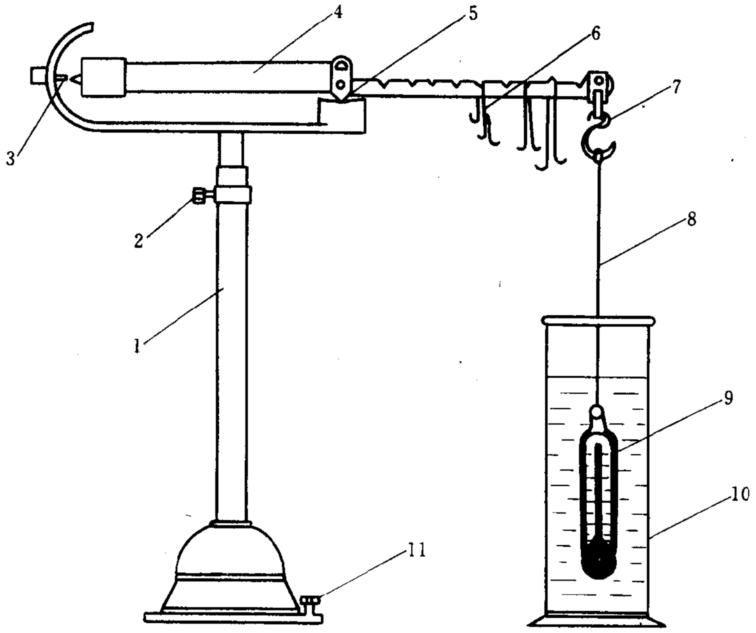


图 2-32 韦氏天平

1—支架；2—调节器；3—指针；4—横梁；5—刀口；6—骑码；7—小钩；8—细铂丝；9—浮锤；10—玻璃筒；11—调整螺丝

（三）结果的表示

样品在 20℃时的密度按下式（2—10）计算：

$$\rho=\frac{\rho_2}{\rho_1}\times\rho_0 \qquad (2\text{—}10)$$

式中 ρ——样品在 20℃时的密度，$g\cdot ml^{-1}$；

ρ_1——浮锤浸于水中时骑码的读数；

ρ_2——浮锤浸于样品中时骑码的读数；

ρ_0——20.0℃时蒸馏水的密度（=0.998 20$g\cdot ml^{-1}$）。

六、凝固点的测定

（一）仪器

（1）干燥试管　长 150mm，内径 20mm。

（2）套管　长 130mm，内径 40mm。

（3）温度计　分度值为 0.1℃。

（4）冷却浴　盛有适宜的冷却液。

（二）装置

测定装置图见图 2-33。

（三）测定方法

称取（15～20）g 固体样品或量取 15ml 液体样品，置于干燥试管中。固体样品于超过其熔点的热浴内，将其熔化，并加热至高于其凝固点约 10℃，将温度计插入试管中，使其不接触试管壁及底，然后将试管放入低于凝固点（5～7）℃的冷却浴中，俟样品冷却至低于凝固点（3～5）℃时，迅速移入事先浸在上述冷却浴的套管中，搅动样品，此时液体仍然在过冷状态，温度甚至还下降。到过冷液体开始凝固时，温度突然上升而稳定在一定温度，只要固相和液相同时存在，温度就稳定在这个数值。此温度即为样品的凝固点。有的样品过冷状态不易破坏，可在过冷液中加极少量晶种（用纯品）。

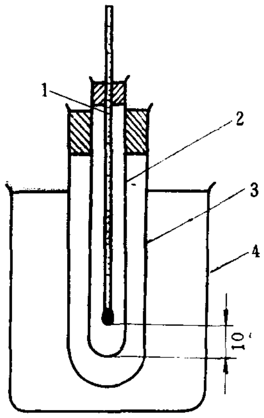


图 2-33　凝固点测定装置
1—温度计；2—干燥试管；3—套管；4—冷却浴

七、结晶点的测定[❶]

本方法适用于结晶点在－7℃～70℃范围内的有机试剂结晶点的测定。

本方法中，物质的结晶点系指液体在冷却过程中由液态变为固态时的相变温度。

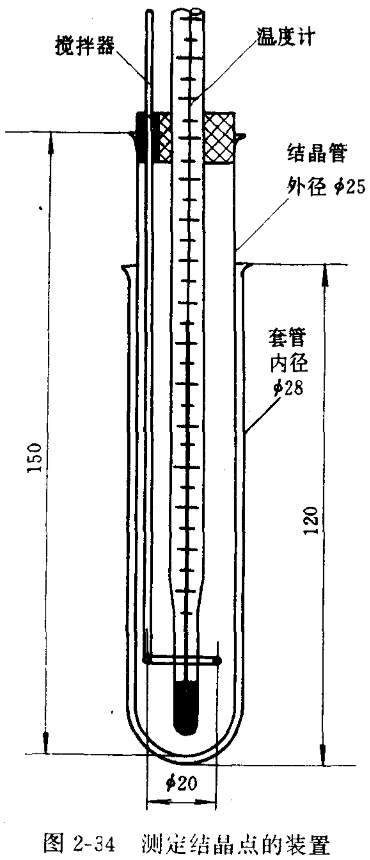


图 2-34　测定结晶点的装置

（一）仪器

（1）结晶管　外径约 25mm，长约 150mm。

（2）套管　内径约 28mm，长约 120mm，壁厚 2mm。

（3）冷却浴　容积约 500ml 的烧杯，盛有合适的冷却液（水、冰水或冰盐水），并带普通温度计。

（4）温度计　分度值为 0.1℃。

（5）搅拌器　用玻璃或不锈钢绕成直径约 20mm 的环。

（6）热浴　容积合适的烧杯，放在电炉上，用调压器控温，并带普通温度计。

（二）操作步骤

测定装置如图 2-34 所示。加样品于干燥的结晶管中，使样品在管中的高度约为 60mm（固体样品应适当大于 60mm），样品若为固体，应在温度超过其熔点的热浴内将其熔化，并加热至高于结晶点约 10℃。插入搅拌器装好温度计，使水银球至管底的距离约为 15mm，勿使温度计接触管壁。装好套管，并将结晶管连同套管一起置于温度低于样品结晶点（5～7）℃的冷却浴中，当样品冷却至低于结晶点（3～5）℃时开始搅拌并观察温度。出现结晶时，停止搅拌，这时温度突然上升，读取最高温度，准确至 0.1℃，并进行温度计刻度误差校正，所得温度即为样品的结晶点。

如果某些样品在一般冷却条件下不易结晶，可另取少量样品，在较低温度下使之结晶，取

❶ 参考中华人民共和国国家标准　GB618—88《结晶点测定通用方法》。北京：中国标准出版社，1988.

少许作为晶种加入样品中，即可测出其结晶点。

八、色度的测定[1]

色度的测定可使用比较器、比色计、分光光度计等进行测定。本方法采用目视比色法测定。

本方法适用于色调接近铂-钴标准液的、澄清透明、浅色液体试剂色度的测定，不适用于易碳化物质的测定。色度的单位为黑曾，1 黑曾单位系指每升含有 1mg 以氯铂酸 (H_2PtCl_6) 形式存在的铂、2mg 氯化钴 ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 的铂-钴溶液的色度。

（一）色度标准液的制备

1. 500 黑曾单位铂-钴标准溶液　准确称取 2.000g 氯化钴、2.491g 氯铂酸钾，溶于 200ml 盐酸和适量水中，稀释至 2 000ml，摇匀。500 黑曾单位铂-钴标准溶液应在暗处密封保存，有效期为 6 个月。

2. 稀铂-钴标准溶液　吸取不同体积的 500 黑曾单位铂-钴标准溶液，稀释至 100ml，可得不同黑曾单位的稀铂-钴标准溶液。计算公式如下：

$$V=\frac{N\times 100}{500} \tag{2-11}$$

式中　V——配制 100ml N 黑曾单位的铂-钴标准溶液所需 500 黑曾单位铂-钴标准溶液之体积，ml；

N——欲配制的稀铂-钴标准溶液的黑曾单位数。

稀铂-钴标准溶液应在使用前配制。

（二）操作步骤

将待测样品注入比色管中，在白色背景下，沿比色管轴线方向用目测法与规定黑曾单位的同体积铂-钴标准溶液比较。

九、粘度的测定

粘度为流体内部阻碍其相对流动的一特性。一般有绝对粘度（又称动力学粘度）和运动粘度（又称运动学粘度）等。

绝对粘度指流体以每秒钟流动 1cm 时，在每平方厘米上需要切向力的大小。

运动粘度指流体相对密度除该流体的绝对粘度得到的商数。

粘度大小随温度变化，温度愈高，粘度愈小，测定粘度则应注意温度，纯水在 20℃时的绝对粘度为 1.0×10^{-3}Pa·s (0.01P)。

测定粘度的方法很多，此处选用两种常用方法。

（一）石油产品恩氏粘度测定法[2]

本方法适用于测定石油产品的恩氏粘度。

恩氏粘度是试样在某温度从恩氏粘度计流出 200ml 所需的时间与蒸馏水在 20℃流出相同体积所需的时间 (s)（即粘度计的水值）之比。在试验过程中，试样流出应成为连续的线状。温度 t 时的恩氏粘度，用符号 E_t 表示，恩氏粘度的单位为条件度，用符号°E代表。

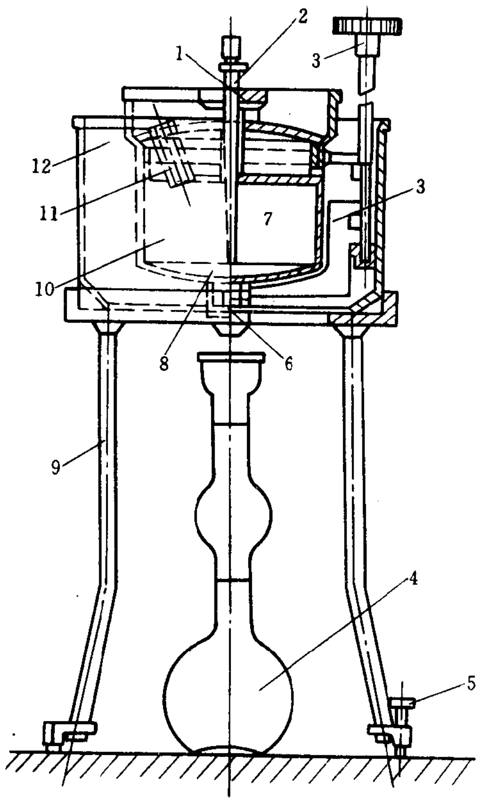
---

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB605—88《色度测定通用方法》。北京：中国标准出版社，1988.

[2] 参考中华人民共和国国家标准　GB266—88《石油产品恩氏粘度测定法》。北京：中国标准出版社，1988.

1. 仪器与材料

（1）恩氏粘度计　见图 2-35（图中长度单位为 mm，下同）：包括装试样的容器，堵塞流出管用的木塞，金属三脚架。盛试样的内容器 10 是装在作水浴或油浴用的外容器 12 中。这两个容器都用黄铜制造。内容器的底部 8 制成球面形，内表面要经过磨光并镀金。内容器设有黄铜制的中空的凸形盖，盖上带有两个孔口 1 及 11，供插入木塞和温度计使用。木塞 2（图 2-35（b））是用来堵塞仪器的流出孔 6。在内容器中，从底部起以等距离在器壁上安装有三个向上弯成直角的小尖钉 7，作为控制油面高度和仪器水平的指示器。在外容器中设有搅拌器 3 和温度计，此温度计利用外容器壁上的夹子来固定。内容器要用 3 根支持杆及流出管固定在外容器中。流出管要利用通过盖上中心孔的木塞堵着。这木塞是用硬木（黄杨木及其他）制成，其规格见图 2-35（b）。用来放置仪器的铁三脚架 9，是由一圆圈和三条长脚所组成，其中有两条脚要设置水平调节螺钉 5。恩氏粘度计的主要尺寸见表 2-22 所示。



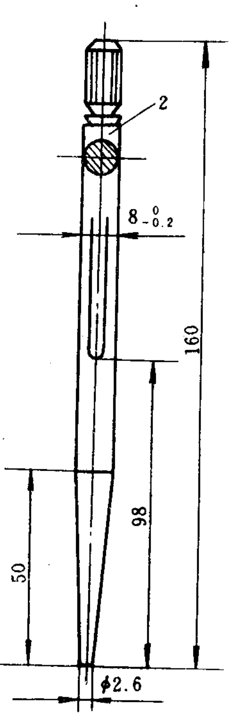


图 2-35　恩氏粘度计

1—木塞插孔；2—木塞；3—搅拌器；4—接受瓶；5—水平调节螺钉；6—流出孔；7—小尖钉；8—球面形底；9—铁三脚架；10—内容器；11—温度计插孔；12—外容器

表 2-22 恩氏粘度计的主要部位尺寸（mm）

零件名称	尺寸	公差
内容器		
内径	106.0	±1.00
底部至扩大部分之间的高度	70.0	±1.00
底部突出部分的深度	7.0	±0.10
扩大部分的内径	115.0	±1.00
扩大部分的高度	30.0	±2.00
从钉尖的水平面至流出管下边缘的距离	52.0	±0.50
流出管		
总长	20.0	±0.10
突出部分的长度	3.0	±0.30
在器底水平面处的内径	2.9	±0.02
下方末端的内径	2.8	±0.02

每件恩氏粘度计应在外容器的表面上注明粘度计名称及生产工厂的厂号或厂标，并注明粘度计的编号。恩氏粘度计的水值，每 4 个月至少校正 1 次。

（2）温度计　共两支，符合 GB 514 中恩氏粘度用温度计要求。

（3）恩氏粘度计用的接受瓶　接受瓶有两种（图 2-36），其一瓶颈刻线为 100ml；另一为宽口而带有两道刻线的接受瓶，这两道刻线应表示 100ml 和 200ml。每种接受瓶的最高刻线至瓶口的容量不小于 60ml。接受瓶的刻线必须在 20℃时刻划。刻线的位置应在瓶颈细狭部分的中间。瓶颈的内径是（18±2）mm。

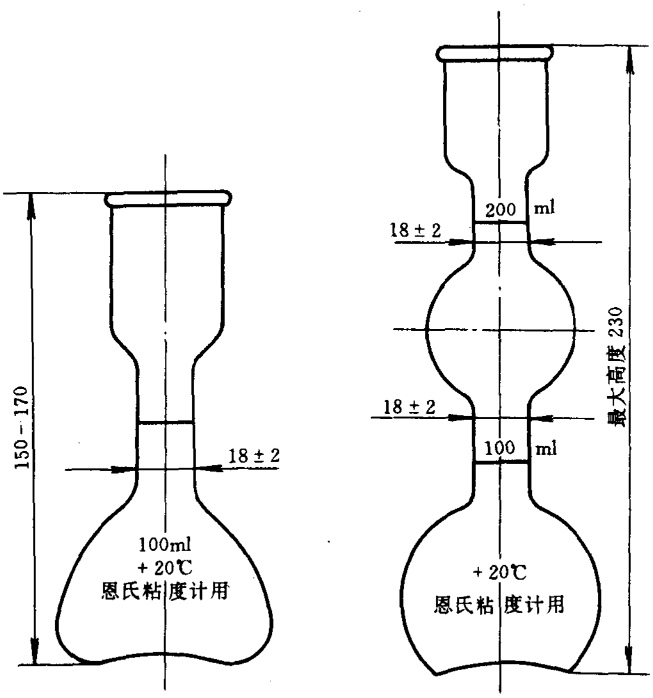


图 2-36　恩氏粘度接受瓶

每只接受瓶刻上“100ml”或“200ml”、“+20℃”、“恩氏粘度计用”等字样。

（4）电加热装置。

（5）吸量管：5ml。

（6）秒表：分度值为 0.2s。

（7）润滑油：50℃运动粘度为（20～60）$mm^2 \cdot s^{-1}$，开口杯法闪点不低于 180℃。

（8）溶剂油：符合 GB 1922 中 NY-120 规格。

2. 试剂

（1）石油醚：（30～60）℃，化学纯；或乙醚：化学纯。

（2）95％乙醇：化学纯。

3. 准备工作

（1）测定粘度计的水值　恩氏粘度计的水值，是蒸馏水在 20℃时从粘度计流出 200ml 所需的时间（s）。在测定水值前，粘度计的内容器要依次用石油醚（或乙醚），95％乙醇和蒸馏水洗涤，并用空气吹干。然后将粘度计的短腿放入铁三脚架的孔内，用固定螺钉固定。此时，将洁净、干燥的木塞插入流出管的上孔内。利用预先依次用铬酸洗液，水和蒸馏水仔细洗涤过的接受瓶，将新蒸馏的蒸馏水（20℃）注入粘度计内容器中；直至内容器中的三个尖钉的尖端刚刚露出水面为止。此外，又用相同温度的水装在粘度计的外容器中，直至浸到内容器的扩大部分为止。旋转铁三脚架的调整螺钉，调整粘度计的位置，使内容器中三个尖钉的尖端都处在同一水平面上。将未经干燥的空接受瓶放在内容器的流出管下面。稍微提起木塞，使内容器中的水全部放入接受瓶内，但这次不计算水的流出时间。此时流出管内要装满水，并使流出管的底端悬着一大滴水珠。立即将木塞插入流出管内，重新将接受瓶中的水沿着玻璃棒小心地注入内容器中，切勿溅出。随后，将空接受瓶放在内容器上倒置（1～2）min，使瓶中的水完全流出，然后将接受瓶放回流出管下面。

内容器中的水和外容器中的液体都要充分搅拌：首先将插有温度计的盖围绕木塞旋转以便搅拌水；然后用安装在外容器中的叶片式搅拌器搅拌保温液体。当两个容器中的水和液体温度等于 20℃（在 5min 内温度差数不超过±0.2℃），而且内容器调整为水平状态（三个尖钉的尖端刚好露出水面）时，迅速提起木塞（应能自动卡着并保持提起的状态，不允许拔出木塞），同时开动秒表。此时，观察水从内容器流出的情况，当凹液面的下边缘到接受瓶的 200ml 环状标线时，立即停住秒表。

蒸馏水流出 200ml 的时间要连续测定 4 次。如果各次测定观察结果与其算术平均值的差数不大于 0.5s，就用这个算术平均值作为第一次测定的平均流出时间。此外，以同样要求进行另一次平行测定，并计算符合要求的平均流出时间。如果重复测定的平均流出时间之差不大于 0.5s，就取这重复测定的两次结果的算术平均值作为仪器的水值，其符号为 K_{20}。

标准粘度计的水值应等于（51±1）s。如果水值不在此范围内就不允许使用该仪器测定粘度。

（2）准备试样　测定粘度前，用每一平方厘米有至少 576 个孔眼的金属滤网过滤试样。如果试样中含水，应加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或粒状的无水氯化钙进行摇动，经过静置沉降后才用滤网过滤。

注：试样中含有不易消失的气泡时，允许在试样瓶连接真空泵减压 10min 来除去。

4. 试验步骤

（1）每次测定粘度前，用滤过的清洁溶剂油仔细洗涤粘度计的内容器及其流出管，然后用空气吹干。内容器不准擦拭，只允许用剪齐边缘的滤纸吸去剩下的液滴。

（2）测定试样在规定温度的粘度时，先将木塞严密塞住粘度计的流出孔（但不可过分用

力压着木塞，以免木塞很快磨坏)，然后将预先加热到稍高于规定温度的试样（按3准备）注入内容器中，这时试样中不应产生气泡。注入的油面必须稍高于尖钉的尖端。

向粘度计的外容器注入水（测定温度在80℃以下时）或润滑油（测定温度在(80～100)℃时）该液体应预先加热到稍高于规定温度。为了使试样的温度在试验过程中能保持恒定并能符合规定温度，应使内容器中的试样温度恰好达到规定的温度，此时保持5min，内容器中试样温度应恒定到±0.2℃。然后记下外容器中液体的温度。在试验过程中要保持外容器的液体温度恒定到±0.2℃（可以用搅拌器搅拌外容器中的液体，必要时可以用电加热装置稍微加热外容器)。

稍微提起木塞，使多余的试样流下，直至三个尖钉的尖端刚好露出油面为止。如果流出的试样过多，就逐滴补添试样满至尖钉的尖端，但油中不要留有气泡。

粘度计加上盖之后，在流出孔下面放置洁净、干燥的接受瓶。然后绕着木塞小心地旋转插有温度计的盖，利用温度计搅拌试样。

试样中的温度计恰好达到规定温度时，再保持5min（但不进行搅拌)，就迅速提起木塞，同时开动秒表。木塞提起的位置应保持与测定水值时相同（也不允许拔出木塞)。当接受瓶中的试样正好达到200ml的标线时（泡沫不予计算)，立即停住秒表，并读取试样的流出时间，准确至0.2s。

注：①仲裁试验时，每次重复试验前都要按4.（1）清洗仪器，并向内容器注入1份未经试验的试样；②燃料油重复测定的两次结果超出精密度的要求时，进行第三次测定前必须按4.(1)清洗仪器，并向内容器注入1份未经试验的试样。

5. 计算　试样在温度t时的恩氏粘度E_t，其单位为条件度（°E)，按下式计算：

$$E_t=\frac{\tau_t}{K_{20}} \tag{2-12}$$

式中　τ_t——试样在试验温度t时从粘度计中流出200ml所需的时间，s；

K_{20}——粘度计的水值，s。

例：粘度计的水值$K_{20}=51.1$s。设燃料油在80℃时从粘度计流出200ml的时间为$\tau_{80}=472.8$s。

该燃料油在80℃时的恩氏粘度测定结果为

$$E_{80}=\frac{\tau_{80}}{K_{20}}=\frac{472.8}{51.1}=9.2\text{条件度（°E）}$$

6. 精密度　重复性：同一操作者重复测定两个流出时间之差不应大于下列数值：

流出时间，s	重复性，s	流出时间，s	重复性，s
≤250	1	501—1 000	5
251—500	3	>1 000	10

7. 报告　取重复测定两个结果的算术平均值，作为试样的恩氏粘度。

（二）毛细管粘度计测定法

1. 仪器、试剂与材料

(1) 测定所需仪器

①毛细管粘度计一组，毛细管内径分别为0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0（图2-37a)，5.0mm和6.0mm（2-37b)。

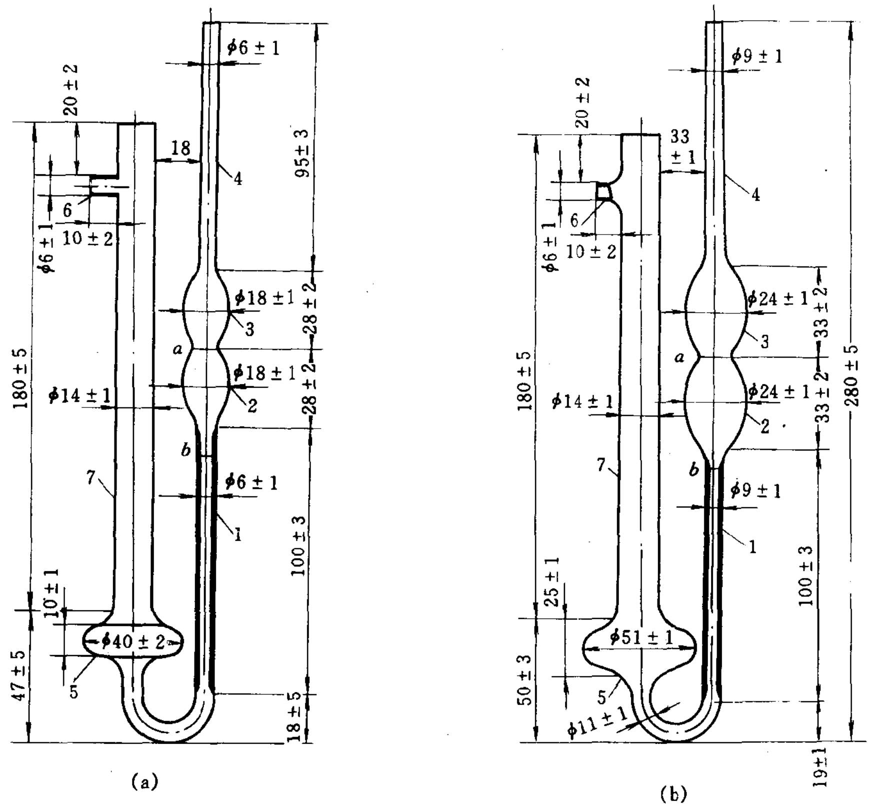


图 2-37 毛细管粘度计

(a) 4mm 毛细管粘度计；(b) 6mm 毛细管粘度计

1—毛细管；2,3,5—扩张部分；4,7—管身；6—支管；a,b—标线

每支粘度计必须有粘度计常数。测定油品的运动粘度时，应根据试验的温度选用适当的粘度计，务使油品试样的流动时间能在（300±180）s 范围内。在低于 0℃试验高粘度的润滑油时，可以让油的流动时间增加到 900s，在 20℃试验液体燃料时，可以让流动时间减少到 60s。

②带有透明壁或装有观察孔的恒温浴，其高度不小于 180mm，容积不小于 2L，并且附设着自动搅拌装置和一种能够准确地调节温度的电热装置。但缺乏恒温浴时，可以使用与恒温浴大小相当的烧杯。在 0℃和低于 0℃测定运动粘度时，使用筒形开有对称看窗的透明保温瓶，其尺寸与前述透明恒温浴相同，并设有搅拌装置。根据测定的条件，要在恒温浴中注入如表 2-23 中列举的任一液体。

③玻璃水银温度计分度为 0.1℃。测定－30℃以下温度的粘度时可以使用同样分度的玻璃合金温度计或其他玻璃液体温度计。

④秒表分度为 0.1s。这个秒表专供测定粘度使用，不应作他用。

用来测定运动粘度的秒表，毛细管粘度计，温度计，都必须定期进行检定。

（2）测定所需用试剂

①洗涤用轻汽油或橡胶溶剂油；②石油醚（60℃～90℃）；③乙醇；④铬酸洗液；⑤蒸馏水。

表 2-23 不同温度下使用的恒温浴液体

测定的温度 t/℃	恒 温 的 液 体
50～100	透明矿物油①、甘油或25％硝酸铵水溶液（这溶液的表面要浮着一层透明的矿物油）
20～50	水
0～－20	水与冰的混合物，或乙醇与干冰（固体二氧化碳）的混合物
0～－50	乙醇与干冰的混合物，在无乙醇的情况下，可用汽油代替

① 恒温浴中的矿物油最好加有抗氧化添加剂，防止氧化。

2．准备工作

（1）油品试样含有水或机械杂质时，在试验前必须经过脱水处理，用滤纸过滤除去机械杂质。

对于粘度大的润滑油，可以在磁漏斗上利用水流泵或其他真空泵进行吸滤，也可以在加热至50℃～100℃的温度下进行脱水过滤。

（2）在测定油品的粘度之前，必须将粘度计用汽油或石油醚洗净。如果粘度计沾有污垢，就用铬酸洗液、水、蒸馏水或乙醇依次洗涤。然后放入烘箱中烘干或用通过棉花滤过的热空气吹干。

（3）测定运动粘度时，在内径符合要求的清洁干燥的毛细管粘度计内装入油品试样。装油之前，将橡皮管套在支管6上，并用手指堵住管身7的管口，同时倒置粘度计，然后将管身4插入装着油品试样的容器中；这时利用橡皮球，水流泵或其他真空泵将液体吸到标线b，同时注意不要使管身4，扩张部分2和3中的液体发生气泡或裂隙。当液面达到标线b时，就从容器里提起粘度计，并迅速恢复其正常状态，同时将管身4的管端外壁所沾着的多余试样擦去，并从支管6取下橡皮管套在管身4上。

（4）将装有油品试样的粘度计浸入事先准备妥当的恒温浴中，并用夹子将粘度计固定在支架上，在固定位置时，必须把毛细管粘度计的扩张部分3浸入一半。

温度计要利用另一只夹子来固定，务使水银球的位置，接近毛细管1中央点的水平面，并使温度计上要测温的刻度位于恒温浴的液面上10mm处。

使用全浸式温度计时，如果它的测温刻度露出恒温浴的液面，就依照下式计算温度计液柱露出部分的补正数Δt，才能准确地量出液体的温度。

$$\Delta t = Kh(t_1 - t_2) \tag{2—13}$$

式中 K——常数，水银温度计采用$K=0.00016$，酒精温度计采用$K=0.001$；

h——露出在浴面上的水银柱或酒精柱高度用温度计的度数表示；

t_1——测定粘度时的规定温度，℃；

t_2——接近温度计液柱露出部分的空气温度，℃（用另一支温度计测出）。

试验时取t_1减去Δt作为温度计上的温度读数。

3．试验步骤

（1）将粘度计调整成为垂直状态，要利用铅垂线从两个相互垂直的方向去检查毛细管1的垂直情况。

将恒温浴调整到规定的温度，把装好油试样的粘度计浸在恒温浴内，需恒温的时间如下页表所示。

试验的温度必须保持恒定到±0.1℃。

（2）利用毛细管粘度计管身4所套着的橡皮管将油品试样吸入扩张部分2，使油面稍高于

标线 a，并且注意不要让毛细管和扩张部分 2 中的液体产生气泡或裂隙。

(3)此时观察试样在管身 4 中的流动情况，液面正好到达标线 a 时，开动秒表，液面正好流到标线 b 时，停止秒表。

试样的液面在扩张部分 2 中流动时，注意恒温浴中正在搅拌的液体要保持恒定温度，而且扩张部分中不应出现气泡。

粘度计在恒温浴中的恒温时间

试验温度/℃	恒温时间/min
100	20
50	15
20	10
0～−50	15

(4) 用秒表记录下来的流动时间，应重复测定至少四次，其中各次流动时间与其算术平均值的差数应符合如下的要求，在温度−10℃～100℃测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的±0.5%；在温度于−10℃～−30℃测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的±1.5%，在低于−30℃温度测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的±2.5%。

然后，取不少于三次的流动时间所得的算术平均值，作为试样的平均流动时间。

4. 计算　在温度 t 时，试样的运动粘度 ν_t ($m^2 \cdot s^{-1}$) 按下式计算：

$$\nu_t = C\tau_t \tag{2—14}$$

式中　C——粘度计常数，$m^2 \cdot s^{-2}$；

τ_t——试样的平均流动时间，s。

例：粘度计常数为 $4.78\times10^{-7} m^2 \cdot s^{-2}$，试样在 50℃时的流动时间为 318.0，322.4，322.6，321.0s，因此流动时间的算术平均值为：

$$\tau_{50} = \frac{318.0+322.4+322.6+321.0}{4} = 321.0s$$

各次流动时间与平均流动时间的允许差数等于：

$$\frac{321.0\times0.5}{100} = 1.6s$$

因为 318.0s 与平均流动时间之差，已超过 1.6s (0.5%)，所以这个读数应弃去。计算平均流动时间时，只采用 322.4，322.6，321.0s 的观测读数，它们与算术平均值之差，都没有超过 1.6s (0.5%)。

于是平均流动时间为：$\tau_{50} = \frac{322.4+322.6+321.0}{3} = 322.0s$

试样运动粘度的测定结果为：

$$\nu_{50} = C\tau_{50} = 4.78\times10^{-7}\times322 = 1.54\times10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$$

5. 精确度

(1) 用上述步骤测定油品的运动粘度时，在每一试验温度应进行两次测定，在两次测定中，每次测定结果与算术平均值的差数不应超过下列规定范围：

测定粘度的温度，℃	100～−10	−10～−30	低于−30
允许差数不超过算术平均值的，%	±0.5	±1.5	±2.5

(2) 用符合上述要求的平行测定的两个结果的算术平均值，作为待测油品的运动粘度。

十、比旋光度的测定[1]

本方法采用旋光仪测定化学试剂比旋光度的方法，适用于液体有机试剂及溶液的比旋光

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB613—88《比旋光度测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988。

度的测定。

样品的旋光度指从起偏镜透射出的偏振光经过样品时，由于样品物质的旋光作用，使其振动方向改变了一定的角度α，将检偏器旋转一定角度，使透过的光强与入射光强相等时旋动的度数。符号用α表示，单位为（°）度。

液体的比旋光度系指在液层长度为1dm，密度为$1g\cdot ml^{-1}$，温度为20℃及用钠光谱D线波长测定时的旋光度。符号用$[\alpha]_D^{20}$表示，单位为（°）（度）。

溶液的比旋光度系指在液层长度为1dm，浓度为$1g\cdot ml^{-1}$，温度为20℃及用钠光谱D线波长测定时的旋光度。符号用$[\alpha]_D^{20}$表示，单位为（°）（度）。

（一）仪器

（1）旋光仪　可读准至0.01°。

（2）旋光管　其长度的测量精度为±0.1mm。

（二）操作步骤

接产品标准的规定取样并配制溶液。

按仪器说明书的规定调整旋光仪，待仪器稳定后，用纯溶剂校准旋光仪的零点。

将待测液体或溶液充满洁净、干燥的旋光管，小心地排出气泡，将盖旋紧后放入旋光仪内。在（20±0.5）℃的条件下，按仪器说明书的规定进行操作并读取旋光度，准确至0.01°，左旋以负号表示，右旋以正号表示。

（三）结果的表示

液体的比旋光度按式（2—15）计算：

$$[\alpha]_D^{20}=\frac{\alpha}{l\cdot\rho} \tag{2—15}$$

溶液的比旋光度按式（2—16）计算：

$$[\alpha]_D^{20}=\frac{\alpha}{l\cdot c} \tag{2—16}$$

式中　$[\alpha]_D^{20}$——20℃时，用钠光谱D线波长测定时的比旋光度，（°）；

α——测得的旋光度，（°）；

l——旋光管的长度，dm；

ρ——液体在20℃时的密度，$g\cdot ml^{-1}$；

c——溶液中有效组分的浓度，$g\cdot ml^{-1}$。

十一、折光率的测定[1]

本方法采用阿贝型折光仪测定液体有机试剂折光率的通用方法，适用于浅色、透明、折光率范围在13 000～17 000的液体有机试剂。

折光率系指在钠光谱D线、20℃的条件下，空气中的光速与被测物中的光速之比值；或光自空气通过被测物时的入射角的正弦与折射角的正弦之比值。符号用n_D^{20}表示。

（一）仪器

（1）折光仪　阿贝型，精密度为±0.0002。

（2）恒温水浴及循环泵　可向棱镜提供温度为（20.0±0.1）℃的循环水。

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB614—88《折光率测定通用方法》北京：中国标准出版社，1988。

（二）操作步骤

将恒温水浴与棱镜连接，调节恒温水浴温度，使棱镜温度保持在 20.0℃±0.1℃。

用二级水或标准玻璃块校正折光仪。校正方法及标准玻璃块的折光率由仪器说明书给出。二级水的折光率 n_D^{20}＝1.3330。

在每次测定前都应清洗棱镜表面。如无特殊说明，可用适当的易挥发性溶剂清洗棱镜表面，再用镜头纸或医药棉将溶剂吸干。

用滴管向棱镜表面滴加数滴 20℃左右的样品，立即闭合棱镜并旋紧，应使样品均匀、无气泡并充满视场，待棱镜温度计读数恢复到 20.0℃±0.1℃。

调节反光镜使视场明亮。调节棱镜组旋钮，使视场中出现明暗界线，调节补偿棱镜旋钮，使界线处所呈彩色完全消失，再调节棱镜组旋钮，使明暗界线与叉丝中心重合。

读出折光率值，估读至小数点后第四位。

十二、软化点的测定[1]

本方法适用于测定石油沥青的软化点。

石油沥青的软化点是试样在测定条件下，因受热而下坠达 25.4mm 时的温度，以℃表示。

（一）仪器与材料

1．仪器

（1）沥青软化点测定器

①钢球：直径为 9.53mm，重量为（3.50±0.05）g 的钢制圆球。

②试样环：用黄铜制成的锥环或肩环，其形状及尺寸要求见图 2-38，图中长度单位为 mm，下同。

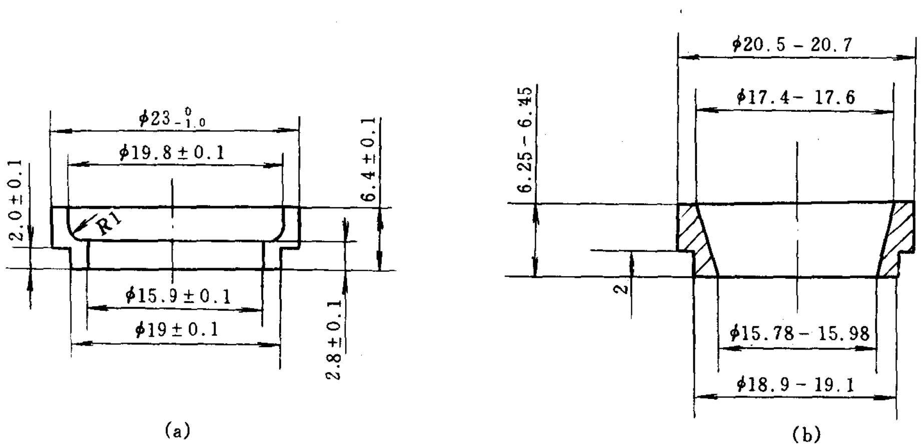


图 2-38　沥青软化点试样环

（a）黄铜肩环；（b）黄铜锥环

③钢球定位器：用黄铜制成，能使钢球定位于试样环中央。通常推荐的一种钢球定位器的形式及尺寸见图 2-39。

---

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB4507—84《石油沥青软化点的测定法》北京：中国标准出版社，1984。

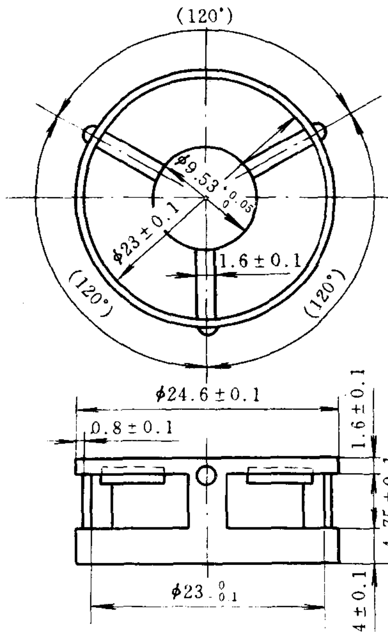


图 2-39 钢球定位器

④支架：由上、中及下承板和定位套组成。环可以水平地安放于中承板上的圆孔中，环的下边缘距下承板应为25.4mm。其距离由定位套保证。三块板用长螺栓固定在一起。

⑤温度计：应符合GB 514—83《石油产品试验用液体温度计技术条件》中沥青软化点专用温度计的规格技术要求。

（2）电炉及其他加热器。

（3）金属板（一面必须磨光至光洁度▽8）或玻璃板。

（4）刀　切沥青用。

（5）筛　筛孔为（0.3～0.5）mm的金属网。

2．材料

（1）甘油-滑石粉隔离剂（甘油2份，滑石粉1份，以重量计）。

（2）新煮沸过的蒸馏水。

（3）甘油。

（二）准备工作

（1）将黄铜环置于涂有隔离剂的金属板或玻璃板上。

（2）将预先脱水的试样加热熔化，不断搅拌，以防止局部过热，加热温度不得高于试样估计软化点100℃，加热时间不超过30min。用筛过滤。将试样注入黄铜环内至略高出环面为止。若估计软化点在120℃以上时，应将黄铜环与金属板预热至（80～100）℃。

（3）试样在（15～30）℃的空气中冷却30min后，用热刀刮去高出环面的试样，使与环面齐平。

（4）估计软化点不高于80℃的试样，将盛有试样的黄铜环及板置于盛满水的保温槽内，水温保持在（5±0.5）℃，恒温15min。估计软化点高于80℃的试样，将盛有试样的黄铜环及板置于盛满甘油的保温槽内，甘油温度保持在（32±1）℃，恒温15min，或将盛试样的环水平地安放在环架中承板的孔内，然后放在盛有水或甘油的烧杯中，恒温15min，温度要求同保温槽。

（5）烧杯内注入新煮沸并冷却至5℃的蒸馏水（估计软化点不高于80℃的试样），或注入预先加热至约32℃的甘油（估计软化点高于80℃的试样），使水平或甘油面略低于环架连杆上的深度标记。

（三）试验步骤

（1）从水或甘油保温槽中取出盛有试样的黄铜环放置在环架中承板的圆孔中，并套上钢球定位器把整个环架放入烧杯内，调整水面或甘油液面至深度标记，环架上任何部分均不得有气泡。将温度计由上承板中心孔垂直插入，使水银球底部与铜环下面齐平。

（2）将烧杯移放至有石棉网的三脚架上或电炉上，然后将钢球放在试样上（须使各环的平面在全部加热时间内完全处于水平状态）立即加热，使烧杯内水或甘油温度在3min后保持每分钟上升（5±0.5）℃，在整个测定中如温度的上升速度超出此范围时，则试验应重做。

(3) 试样受热软化下坠至与下承板面接触时的温度即为试样的软化点。取平行测定两个结果的算术平均值作为测定结果。

(四) 精密度 (95%置信水平)

1. 重复性　重复测定两个结果间的差数不得大于下列规定：

软化点，t/℃	<80	80～100	100～140
允许差数，t/℃	1	2	3

2. 再现性　同一试样由两个试验室各自提供的试验结果之差不应超过 5.5℃。

十三、闪点与燃点的测定

(一) 用开口杯测定闪点和燃点 (开口杯法)[1]

本方法适用于测定润滑油和深色石油产品。

油品试样在本标准的规定条件下加热到它的蒸汽与火焰接触发生闪火时的最低温度，称为开口杯法闪点。

油品试样在本标准的规定条件下加热到能被接触的火焰点着并燃烧不少于 5s 时的最低温度，称为开口杯法燃点。

1. 仪器与材料

(1) 仪器

①开口闪点测定器：符合 SY 3609 要求。

②温度计：符合 GB　514 要求。

③煤气灯、酒精喷灯或电炉 (测定闪点高于 200℃试样时，必须使用电炉)。

(2) 材料　溶剂油：符合 GB　1922 中 NY-120 要求。

2. 准备工作

(1) 试样的水分大于 0.1%时，必须脱水。脱水处理是在试样中加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或无水氯化钙进行。

闪点低于 100℃的试样脱水时不必加热；其他试样允许加热至 (50～80)℃时用脱水剂脱水。

脱水后，取试样的上层澄清部分供试验使用。

(2) 内坩埚用溶剂油洗涤后，放在点燃的煤气灯上加热，除去遗留的溶剂油。待内坩埚冷却至室温时，放入装有细砂 (经过煅烧) 的外坩埚中，使细砂表面距离内坩埚的口部边缘约 12mm，并使内坩埚底部与外坩埚底部之间保持厚度为 (5～8) mm 的砂层。对闪点在 300℃以上的试样进行测定时，两只坩埚底部之间的砂层厚度允许酌量减薄，但在试验时必须保持 3. (1)a. 规定的升温速度。

(3) 试样注入内坩埚时，对于闪点在 210℃和 210℃以下的试样，液面距离坩埚口部边缘为 12mm (即内坩埚内的上刻线处)；对于闪点在 210℃以上的试样，液面距离口部边缘为 18mm (即内坩埚内的下刻线处)。

试样向内坩埚注入时，不应溅出，而且液面以上的坩埚壁不应沾有试样。

(4) 将装好试样的坩埚平稳地放置在支架上的铁环 (或电炉) 中，再将温度计垂直地固定在温度计夹上，并使温度计的水银球位于内坩埚中央，与坩埚底和试样液面的距离大致相

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB267—88《石油产品闪点与燃点测定法》北京：中国标准出版社，1988。

等。

(5) 测定装置应放在避风和较暗的地方并用防护屏围着，使闪点现象能够看得清楚。

3. 试验步骤

(1) 闪点

a. 加热坩埚，使试样逐渐升高温度，当试样温度达到预计闪点前60℃时，调整加热速度，使试样温度达到闪点前40℃时能控制升温速度为每分钟升高 (4±1)℃。

b. 试样温度达到预计闪点前10℃时，将点火器的火焰放到距离试样液面 (10～14) mm处，并在该处水平面上沿着坩埚内径作直线移动，从坩埚的一边移至另一边所经过的时间为2—3s。试样温度每升高2℃应重复一次点火试验。

点火器的火焰长度，应预先调整为 (3～4) mm。

c. 试样液面上方最初出现蓝色火焰时，立即从温度计读出温度作为闪点的测定结果，同时记录大气压力。

注：试样蒸汽的闪火同点火器火焰的闪光不应混淆。如果闪火现象不明显，必须在试样升高2℃时继续点火证实。

(2) 燃点

a. 测得试样的闪点之后，如果还需要测定燃点，应继续对外坩埚进行加热，使试样的升温速度为每分钟升高 (4±1)℃。然后，按3. (1) b所述用点火器的火焰进行点火试验。

b. 试样接触火焰后立即着火并能继续燃烧不少于5s，此时立即从温度计读出温度作为燃点的测定结果。

(3) 大气压力对闪点和燃点影响的修正

①大气压力低于99.3kPa (745mmHg) 时，试验所得的闪点或燃点 t_0 (℃) 按式 (2—17) 进行修正 (精确到1℃)：

$$t_0=t+\Delta t \qquad (2—17)$$

式中 t_0——相当于101.3kPa (760mmHg) 大气压力时的闪点或燃点，℃；

t——在试验条件下测得的闪点或燃点，℃；

Δt——修正数，℃。

②大气压力在 (72.0～101.3) kPa [(540～760) mmHg] 范围内，修正数 Δt/℃可按式 (2—18) 或式 (2—19) 计算

$$\Delta t=(0.00015t+0.028)(101.3-P)\times 7.5 \qquad (2—18)$$

$$\Delta t=(0.00015t+0.028)(760-P_1) \qquad (2—19)$$

式中 P——试验条件下的大气压力，kPa；

t——在试验条件下测得的闪点或燃点(300℃以上仍按300℃计)，℃；

0.00015，0.028——试验常数；

7.5——大气压力单位换算系数；

P_1——试验条件下的大气压力，mmHg。

注：对(64.0～71.9)kPa[(480～539)mmHg]大气压力范围，测得闪点或燃点的修正数 Δt/℃也可参照采用式(2—18)或式(2—19)进行计算。

此外，修正数 Δt/℃还可以从表2-24查出。

表 2-24　不同大气压下闪点或燃点的修正值 Δt

闪点或燃点 t/℃	在下列大气压力 P/kPa(mmHg)时的修正值 Δt/℃										
	72.0 (540)	74.6 (560)	77.3 (580)	80.0 (600)	82.6 (620)	85.3 (640)	88.0 (660)	90.6 (680)	93.3 (700)	96.0 (720)	98.6 (740)
100	9	9	8	7	6	5	4	3	2	2	1
125	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1
150	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
175	12	11	10	9	8	6	5	4	3	2	1
200	13	12	10	9	8	7	6	5	4	2	1
225	14	12	11	10	9	7	6	5	4	2	1
250	14	13	12	11	9	8	7	5	4	3	1
275	15	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1
300	16	15	13	12	10	9	7	6	4	3	1

4. 精密度　重复性

(1)同一操作者重复测定的两个闪点结果之差不应大于下列数值：

闪点，t/℃	≤150	>150
重复性，t/℃	4	6

(2)同一操作者重复测定的两个燃点结果之差不应大于 6℃。

5. 报告

(1)取重复测定两个闪点结果的算术平均值，作为试样的闪点。

(2)取重复测定两个燃点结果的算术平均值，作为试样的燃点。

(二)用闭口杯仪器测定闪点(闭口杯法)[1]

石油产品用闭口杯在规定条件下加热到它的蒸汽与空气的混合气接触火焰发生闪火时的最低温度，称为闭口杯法闪点。

1. 仪器

(1)闭口闪点测定器(见图 2-40)符合 SY 3205-82《闭口闪点测定器技术条件》。

(2)温度计　符合 GB 514-75《石油产品试验用液体温度计技术条件》。

(3)防护屏　用镀锌铁皮制成，高度(550～650)mm，宽度以适用为宜，屏身内壁涂成黑色。

2. 准备工作

(1)试样的水分超过 0.05%时，必须脱水。脱水处理是在试样中加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或无水氯化钙进行，试样闪点估计低于 100℃时不必加温，闪点估计高于 100℃时，可以加热到(50～80)℃。

脱水后，取试样的上层澄清部分供试验使用。

(2)油杯要用无铅汽油洗涤，再用空气吹干。

(3)试样注入油杯时，试样和油杯的温度都不应高于试样脱水的温度。杯中试样要装满到环状标记处，然后盖上清洁、干燥的杯盖，插入温度计，并将油杯放在空气浴中。试验闪点低于 50℃的试样时，应预先将空气浴冷却到室温(20±5)℃。

(4)将点火器的灯芯或煤气引火点燃，并将火焰调整到接近球形，其直径为(3～4)mm。

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB261—83《石油产品闪点测定法》北京：中国标准出版社，1983。

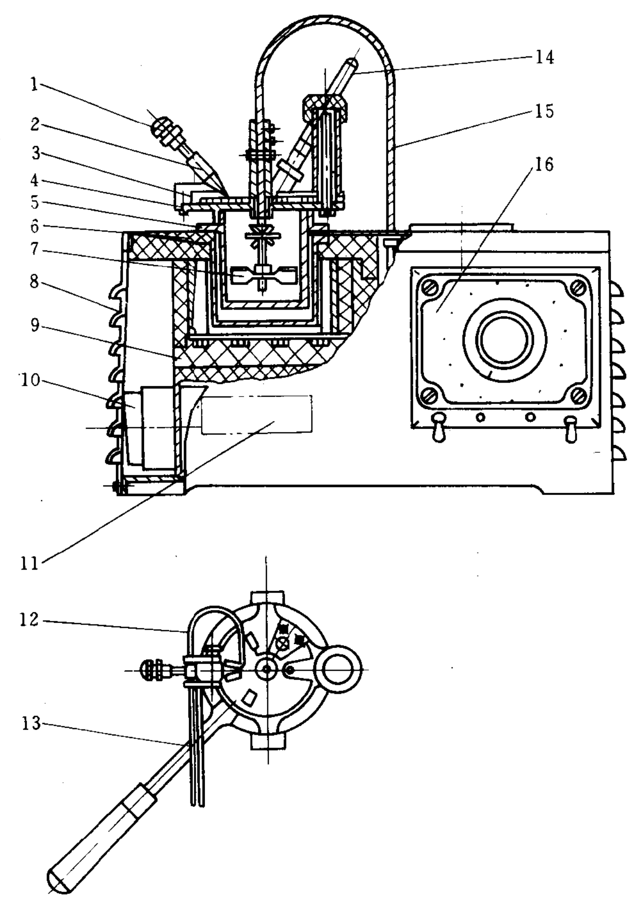


图 2-40　闭口闪点测定仪

1—点火器调节螺丝；2—点火器；3—滑板；4—油杯盖；5—油杯；6—浴套；7—搅拌桨；8—壳体；9—电炉盘；10—电动机；11—铭牌；12—点火管；13—油杯手柄；14—温度计；15—传动软轴；16—开关箱

使用灯芯的点火器之前，应向器中加入轻质润滑油（如缝纫机油、变压器油等）作为燃料。

（5）闪点测定器要放在避风和较暗的地点，才便利于观察闪火。为了更有效地避免气流和光线的影响，闪点测定器应围着防护屏。

（6）用检定过的气压计，测出试验时的实际大气压力 P。

3. 试验步骤

（1）用煤气灯或带变压器的电热装置加热时，应注意下列事项：

①试验闪点低于 50℃的试样时，从试验开始到结束要不断地进行搅拌，并使试样温度每分钟升高 1℃。

②试验闪点高于 50℃的试样时，开始加热速度要均匀上升，并定期进行搅拌。到预计闪点前 40℃时，调整加热速度，使在预计闪点前 20℃时，升温速度能控制在每分钟升高（2—3）℃，并还要不断进行搅拌。

（2）试样温度到达预期闪点前 10℃时，对于闪点低于 104℃的试样每经 1℃进行点火试验；对于闪点高于 104℃的试样每经 2℃进行点火试验。

试样在试验期间都要转动搅拌器进行搅拌；只有在点火时才停止搅拌。点火时，使火焰在 0.5s 内降到杯上含蒸汽的空间中，留在这一位置 1s 立即迅速回到原位。如果看不到闪火，就继续搅拌试样，并按本条的要求重复进行点火试验。

（3）在试样液面上方最初出现蓝色火焰时，立即从温度计读出温度作为闪点的测定结果。得到最初闪火之后，继续按照 3.（2）进行点火试验，应能继续闪火。在最初闪火之后，如果再进行点火却看不到闪火，应更换试样重新试验；只有重复试验的结果依然如此，才能认为测定有效。

4. 大气压力对闪点影响的修正

（1）观察和记录大气压力，按式（2—20）或式（2—21）计算在标准大气压力 101.3kPa（760mmHg）时闪点修正数 Δt/℃：

$$\Delta t = 0.25(101.3 - P) \qquad (2\text{—}20)$$

$$\Delta t = 0.0345(760 - P) \qquad (2\text{—}21)$$

式中　P——实际大气压力。式（2—20）中 P 的单位为千帕（kPa）；式（2—21）中 P 的单位为

mmHg。

(2)观察到的闪点数值加修正数，修约后以整数报结果。此外，式(2—21)修正数 Δt/℃还可以从表 2-25 查出：

表 2-25 不同大气压力范围的闪点修正值 Δt

大气压力 P/mmHg	修正数 Δt/℃
630～658	+4
659～687	+3
688～716	+2
717～745	+1
775～803	−1

5. 精密度 用以下规定来判断结果的可靠性(95%置信水平)。

(1)重复性 同一操作者重复测定两个结果之差，不应超过以下数值：

闪点范围，t/℃	104 或低于 104	高于 104
允许差数，t/℃	2	6

(2)再现性 由两个实验室提出两个结果之差，不应超过以下数值：

闪点范围，t/℃	104 或低于 104	高于 104
允许差数，t/℃	4	8

注：①本精密度的再现性不适用于 20 号航空润滑油。

②本精密度是 1979～1980 年用 7 个试样，在 12 个实验室开展统计试验，并对试验结果进行数据处理和分析得到的。

6. 报告 取重复测定两个结果的算术平均值，作为试样的闪点。

十四、玻璃化温度的测定

高聚物由高弹态向玻璃态转化时(或相反过程的转化时)所处的温度称为玻璃化温度(T_g)。在此温度下，高聚物的许多性能，如膨胀系数、比热、导热系数、密度、折光率、硬度、介电常数、弹性模量等，均将发生突然的变化。高聚物在低于玻璃化温度时具有玻璃态固体的特征。在多数情况下，T_g 代表高聚物材料的使用极限温度，对于橡胶来说，T_g 是最低工作温度，对于无定形塑料来说，T_g 是最高工作温度。因此，为了工业应用的需要，研究高聚物 T_g 的测定方法是有实际意义的。

测定 T_g 的方法很多，这里仅介绍常用的膨胀计法和热机械分析法。

(一)膨胀计法

1. 原理 膨胀计法测高聚物玻璃化温度的原理基于高聚物在 T_g 以下时，大分子链段的自由运动被冻结，此时高聚物的热膨胀机构主要是克服分子间的次价力。因此，高聚物的容积随温度的增加而线性的增加，如图 2-41A 段所示。当温度升高到玻璃化温度以上时，被冻结的链解冻，因此，链段的自由运动方属可能，同时高分子链的本身由于链段的扩散运动也发生膨胀，因此在容积-温度曲线上出现转折点，高聚物容积随温度的增加而急剧地线性增加，如图 2-41B 段所示。对于大多数高聚物来说，容积-温度曲线上的转折是明显的，A、B 二段延长线的交点所对应的温度即为玻璃化温度。

2. 方法要点

(1)图 2-42 绘出了测定玻璃化温度用的膨胀计系统。首先须将试样装入安瓿瓶内，对膨胀计系统进行抽真空。后用水银充满安瓿瓶并且使其占据毛细管的一定高度。用冷浴或热浴以每分钟(1～2)℃的升温速度降温或加热安瓿瓶，记录温度和毛细管内水银柱的高度，根据所得数据，即可作出水银毛细管高度与温度的关系曲线，并求得曲线的转折点，即为玻璃化温度，如图 2-43 所示。

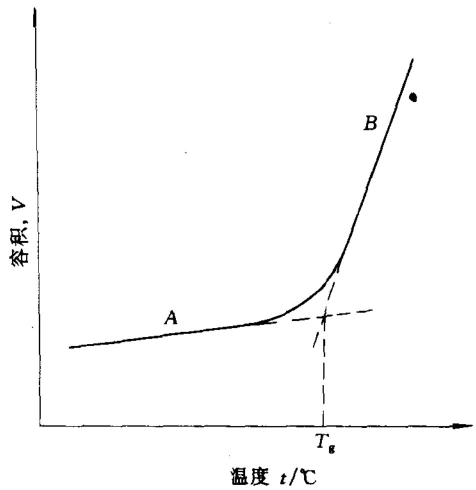


图 2-41　高聚物的容积-温度曲线

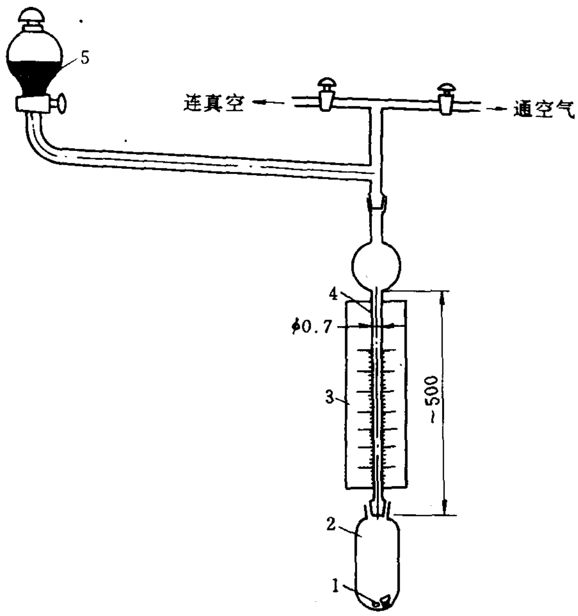


图 2-42　膨胀计示意图

1—试样；2—容器；3—标尺；4—毛细管；5—水银

(2)测定时，如果试样中含有单体、溶剂或增塑剂等物质可使玻璃化温度值剧烈下降。此外，外界环境以及升温（或降温）的快慢等，亦能影响 T_g 的测定值。

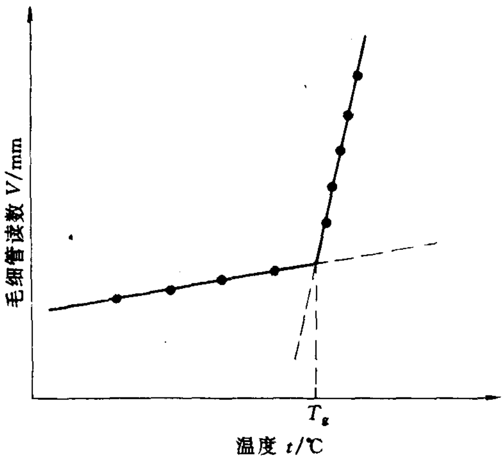


图 2-43　实际测量曲线

(二)热机械分析法(TMA)[1]

本方法适用于无定形热塑性塑料，亦适用于部分结晶的热塑性塑料，不适用于高填充无定型热塑性塑料体系。

1. 原理　以一定的加热速率加热试样，使试样在恒定的较小负荷下随温度发生形变，塑料试样在玻璃态区域内，随着温度的增长，试样几乎不发生形变或形变较小。但当温度接近或达到 T_g 时，试样就发生剧烈的形变，这就表明试样开始由玻璃态向高弹态转化，曲线的转折处的交点，即是玻璃化温度(T_g)。

2. 仪器　热机械分析仪主要由机架、压头、加荷装置、加热装置、致冷装置、形变测量装置、记录装置、温度程序控制装置等组成（见图 2-44）。

(1)机架应为刚性结构，压杆在最大负荷下，在测试温度范围内，在轴线方向不发生变形。

(2)压头的端面应与主轴轴线相垂直，其偏差不大于 0.2%，在试验负荷下，压头不应有任

[1] 参考中华人民共和国国家标准　GB11998—89《塑料玻璃化温度测定法》北京：中国标准出版社，1989。

何变形和损伤，其直径为(4.0±1.0)mm，长度为(10±1)mm。

(3)加荷装置可通过压杆、压头对试样施加所需压强。

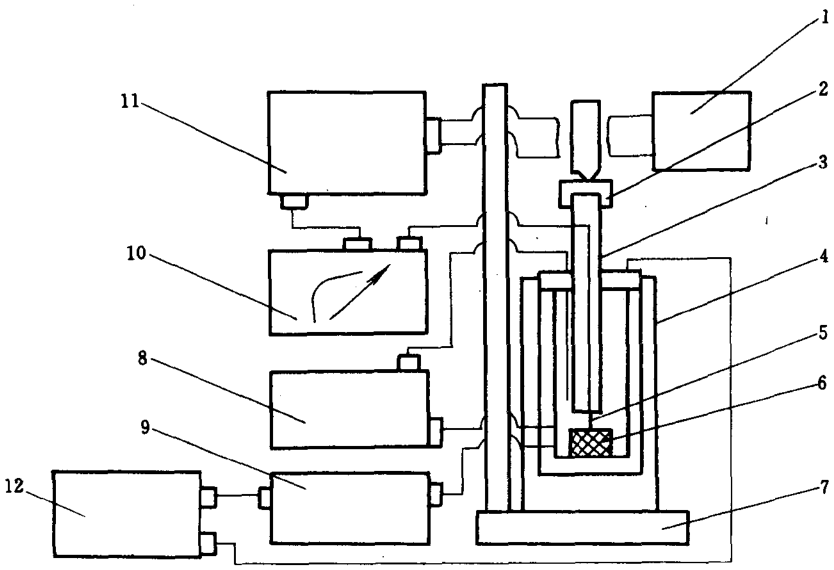


图 2-44　热机械分析仪示意图

1—音频信号源；2—负荷；3—压杆；4—炉子；5—压头；6—试样；7—机架；8—高温程序温度控制器；9—低温程序温度控制器；10—记录仪；11—形变量转换放大器；12—低温致冷器

(4)加热装置应有程序控制系统，可调节所需要的加热速率，偏差为±0.5℃·min^{-1}，控温精度为0.5℃，并能将温度变化转变为电信号输送到记录装置。

(5)致冷装置应能迅速使炉子与试样冷却到所需温度(最低可至−150℃)。

(6)形变测量装置应能感受到探头位移的微小变化，并将这种变化转变为电信号，输送到记录装置。探头每位移1μm应至少输出1μV的电信号。

(7)记录装置应能记录探头位移和温度的变化，其灵敏度为探头每移动1μm，记录图偏移至少1mm。

3.试样

(1)试样尺寸：

①圆柱形试样 $\phi \times L$，mm：(4.5±0.5)×(6.0±1.0)；

②正方柱形试样 $a \times b \times L$，mm：(4.5±0.5)×(4.5±0.5)×(6.0±1.0)。

③如用其他尺寸试样，应在报告中注明。

(2)每次取两个试样为一组。

(3)试样表面应平整，受检的两端面应平行，并与轴线相垂直，可采用机械加工制备。

4.状态调节　试样应在具有鼓风的烘箱中低于玻璃化温度约20℃下烘2h，然后放于盛有无水氯化钙干燥器中冷却至室温，再按GB 2918规定的标准环境处理24h，如有特殊要求，按产品标准或供需双方商定的条件处理。玻璃化温度低于室温的试样放在试样架上预测试，待温度低于玻璃化温度约20℃时，保持5min，冷却至初始温度，再保持5min，可进行正式测量。

5.试验条件

(1)加热速率为(1.2±0.5)℃·min^{-1}。

(2)试样承受压强为(0.4±0.2)MPa。

(3)试验环境按GB 2918中规定的常温、常湿。

(4)如果试样易受氧化,可用氮气保护。

6.试验步骤

(1)将热机械分析仪接通电源,预热约15min。

(2)将状态调节好的试样,放入热机械分析仪试样架上,加上压杆和所需负荷,保持约15min,并使达到温度稳定。

(3)开启温度程序控制开关,以规定的升温速率加热试样,记录仪开始记录温度-形变关系曲线。

(4)当温度-形变曲线发生急剧变化后,即可终止试验。

7.试验结果

(1)玻璃化温度(T_g)由温度-形变曲线作切线求得(如图2-45)。

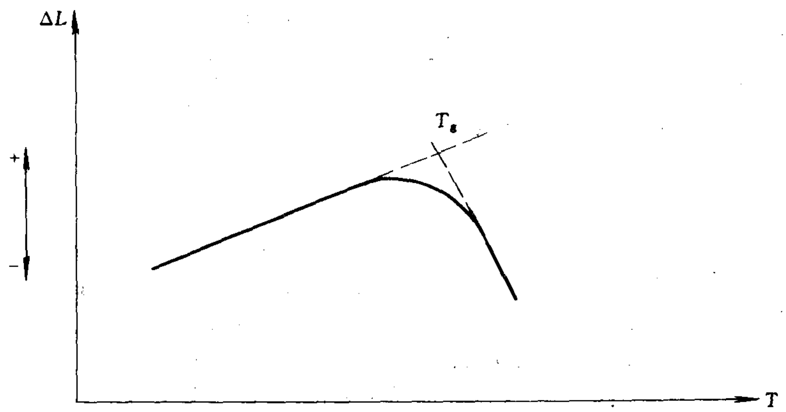


图2-45 温度-形变曲线

(2)以两个试样试验结果的算术平均值作为试验结果。

两个试样的结果,相差不得大于4℃,否则应重新试验。试验结果修约到整数位。

8.试验报告 试验报告应包括下列内容:

(1)注明按照本国家标准;

(2)材料名称、规格、来源及生产厂;

(3)试验加热速率、试样所受压强及状态调节情况;

(4)试验结果的单个值与平均值;

(5)试验日期与试验人员。

9.注意事项 本标准规定的试验方法所测得的结果与用其他方法测得的结果,不能相比较。

十五、辛烷值的测定(马达法)[1]

本方法适用于测定汽车和航空火花点火式发动机用汽油的抗爆性能。其测定结果用马达

[1] 参考中华人民共和国国家标准 GB503—85《汽油辛烷值测定法》北京:中国标准出版社,1985。

法辛烷值来表示，即辛烷值/马达法。例如：85.1/MON。

马达法辛烷值也适用于测定航空汽油贫混合气(飞机巡航速度)运转条件下的抗爆性能。

本方法应用于石油炼制，交货验收以及商业、发动机制造业。

辛烷值是表示燃料的抗爆性的条件单位，在数值上等于异辛烷(2,2,4-三甲基戊烷)与正庚烷混合物中异辛烷的体积分数。

异辛烷的抗爆性相当于辛烷值100，正庚烷的抗爆性相当于辛烷值0。

(一)设备

爆震试验装置：包括一台连续可变压缩比的单缸发动机，合适的负载设备，辅助设施和仪表，它们都装在一个固定的底座上。美国制造的ASTM-CFR试验机被定为本方法的基本试验设备。其他型号的辛烷值试验机也可用于本方法，但基础甲苯标定燃料的试验结果必须符合表2-26的要求，试验结果才有效。仲裁试验必须使用设备状况良好的ASTM-CFR试验机。

(二)燃料

1.参比燃料

(1)异辛烷　又称2,2,4-三甲基戊烷。规格指标见表2-27。

(2)正庚烷　规格指标见表2-27。

(3)稀释四乙基铅　用稀释后的四乙基铅溶液可以提高调配精度，稀释后的四乙基铅溶液必须说明浓度。调配前应根据需要，计算好四乙基铅溶液的加入量。

四乙基铅为剧毒物品，使用中应加以防护，妥善保存。

2.标定燃料　标定燃料是由正庚烷、异辛烷、甲苯、四乙基铅等调合而成的，调合比例和对应的辛烷值见表2-28、表2-29。正庚烷、异辛烷、四乙基铅溶液的要求见(二)(1)，甲苯规格应符合GB 3406—82《石油甲苯》，见表2-30。

(三)发动机的工作状况及试验条件

测定辛烷值时，发动机应保持以下工作状况及试验条件。

1.发动机转速　$(900\pm9)r\cdot min^{-1}$。在一次试验中，最大变化不超过$9r\cdot min^{-1}$。

2.点火时间　点火时间随压缩比的变化而自动变化。它的基本定位是在不经大气压力修正的情况下，数字计算器读数为264时，这时的点火时间为上死点前26°。

在不同的数字计数器读数下，点火时间应符合下列规定。

数字计数器读数	点火时间(上死点前),(°)	数字计数器读数	点火时间(上死点前),(°)
264	26	777	19
337	25	851	18
410	24	925	17
484	23	998	16
556	22	1 070	15
630	21	1 145	14
704	20		

3.火花塞间隙　0.51mm±0.13mm。

4.断电器触点间隙　0.51mm。

对于一个无触点的点火系统，传感器底部位置与转子(叶片)末端的间隙为0.08mm—0.13mm。

5.气门间隙　0.20mm±0.03mm。它是在发动机处于测定辛烷值为100的热状态标准条件下测定的。

6. 曲轴箱润滑油　用 HQ-10 或 HC-11 油(SAE30)，使用性能符合 SC 或 CC 级要求。粘度指数不小于 85，不允许使用含有粘度指数改进剂的多级油。

7. 润滑油压力　在标准试验条件下，润滑油压力为(171.7～206.0)kPa。

8. 润滑油温度　57℃±8.5℃(135℉±15℉)。测温敏感元件应全部浸在曲轴箱润滑油中。

9. 冷却液温度　100℃±1.5℃(212℉±3℉)。在一次试验中，要恒定在±0.5℃(±1℉)的范围内。

10. 进气湿度　3.56℃—7.12g 水·kg^{-1}干空气。

11. 进气温度　38℃±2.8℃(100℉±5℉)。用插入进气管孔中的水银温度计测量。

12. 混合气温度　149℃±1.1℃(300℉±2℉)。用插入进气歧管上的水银温度计测量。

13. 化油器喉管直径　不同的海拔高度相应用不同的喉管直径，规定如下：

海拔高度/m	喉管直径/mm
0～500	14.3
500～1 000	15.1
1 000 以上	19.1

14. 汽缸高度的调整。

(1)基础汽缸高度的测定

①当发动机处于标准试验温度下，停机，取下爆震信号发讯器，换装汽缸压力表。

②在化油器喉管尺寸符合(三)13 要求的情况下，用电机拖动发动机，调整汽缸高度，使压缩压力符合图 2-46 的要求。

③不改变汽缸高度，调整数字计数器读数为 930。

(2)校验基础汽缸高度

①取下汽缸压力表，将 15.88mm 标准塞规放在两气门之间的位置上，当活塞处于上死点位置时，测量当塞规置于活塞与缸头之间(即塞规两面同时与缸头和活塞接触，但不受挤压，也就是活塞顶与缸头之间的距离为 15.88mm)时的汽缸高度，记录数字计数器读数 A_1 的数值。

注意：在进行这一步骤时，可先将活塞置于上死点前 90°位置上，并把缸头位置上升，再放进塞规。然后使活塞置于上死点，再慢慢调节汽缸高度，用手试推拉塞规，直到符合要求。上述步骤均用手动操作，以免损坏设备。

②将活塞置于压缩冲程上死点位置，调整汽缸高度，使塞规置于进气门顶帽与活塞顶之间，状况同(三)14、(2)①记录数字计数器读数 B_1 的数值。

③用(三)14、(2)②方法，使塞规置于排气门顶帽与活塞顶之间，记录数字计数器读数 C_1 的数值。

④算出(三)14、(2)①结果与(三)14、(2)②和(三)14、(2)③结果的差值，差值即为气门高出缸头平面的高度。

⑤将(三)14、(2)④计算的两个结果之和乘以 0.156 得到气门高度补偿校正值 H_1。

对于数字计数器读数：$H_1=[(A_1-B_1)+(A_1-C_1)]\times 0.156$　　(2—22)

(3)比较

①标准值　数字计数器读数，其标准值为 916，即基本数字计数器读数 930 减去平均气门高度补偿校正值 20，加上火花塞体积校正值 6。

②测量值　数字计数器读数，其值 $916+H_1-A_1$ 应在＋14～21 之间，这样汽缸高度的定位是合适的。

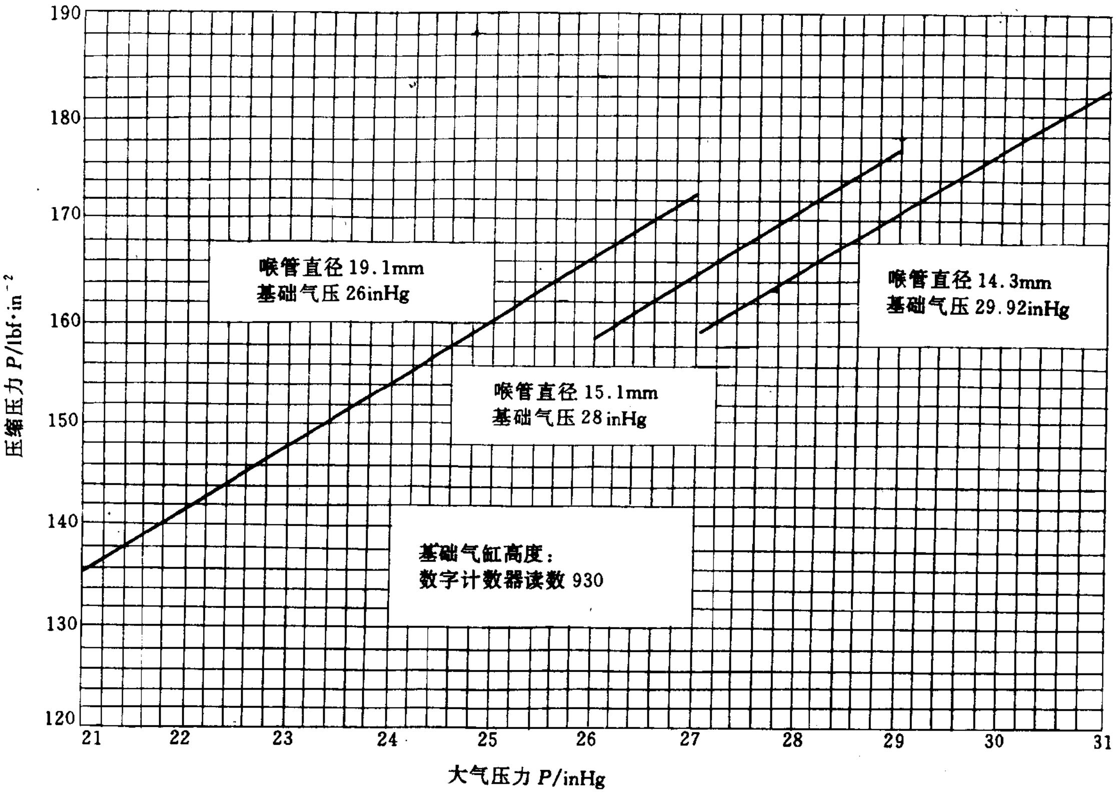


图 2-46　在基础汽缸高度下，不同喉管直径，不同大气压力与汽缸压缩压力关系曲线图

$1lbf \cdot in^{-2}=6.895kPa$；$1inHg=3.38kPa$；$1in=25.4mm$

(4)以上校正如果合适，应全面检查发动机的压缩压力。如压缩压力符合表 2-31 要求，说明发动机的工作状况良好。

15. 燃料-空气混合比　每次试验，无论是试样或是参比燃料，都应把燃料-空气混合比调节到获得最大爆震强度。它是通过改变化油器油罐高度而获得的。最后的燃料液面应指示在玻璃液面计上 0.7～1.7 范围内，否则应清理喷孔或改变喷孔直径，使之满足上述要求。

16. 标准爆震强度　在大气压力为 101.3kPa(29.92inHg)情况下，定义马达法辛烷值与数字计数器读数之间的关系符合表 2-32 要求(其他海拔高度相对应的喉管直径以及辛烷值与数字计数器读数之间的关系见表 2-33 和 2-34 以下同)。对于其它大气压力，其数值应按表 2-35 进行修正。在这种情况下，发动机产生的爆震强度称为标准爆震强度。

17. 基础爆震指示的展宽　当辛烷值为 90 时，调整到使每个辛烷值的爆震指示的展宽为 10～18 分度。虽然展宽幅度会随辛烷值的大小而变化，但是如果在辛烷值为 90 的情况下调好了，在大多数的情况下，评定辛烷值为 80～102 时就不必再作调整。

为了得到更好的展宽水平，可将辛烷值分成若干个区间(如每 10 个辛烷值为一区间)，在每个区间的中间位置上调展宽，使展宽幅度均为(10～18)分度/每个辛烷值。记录调整合适时每个位置上的“展宽”和“仪表读数”旋钮指的数值。此后在评价该区间辛烷值的试样时，就把上述两旋钮调到合适的位置上。

18. 内插法用参比燃料　用内插法评定时，试样的爆震表读数必须处在两个相邻的参比燃

料读数之间，两个参比燃料辛烷值差数不能大于2个辛烷值单位。辛烷值100以下的试样只能用不含四乙基铅的参比燃料来评定。辛烷值在100～103.5之间时，只能用下列几组参比燃料：

100和100.7

100.7和101.3

101.3和102.5

102.5和103.5

19.压缩比法用参比燃料　试样的爆震表读数必须与(二)参比燃料体系中选择的参比燃料混合物相匹配。辛烷值在100～103.5范围内，只能用100.7，101.3，102.5和103.5这几种参比燃料，试样与参比燃料之间的差值，不能超过按(九)4的规定。

20.试样处理　试样开封前，应冷到(2～10)℃；试样一打开，就应马上倒入适当的化油器油罐中进行试验。

(四)发动机的起动和停车

(1)起动前应检查发动机是否正常，是否缺油、缺水，打开冷却水开关，再用电动机拖动发动机运转，打开点火开关，化油器从一个油罐中抽取燃料，点燃发动机。

(2)停车先关闭燃料，再把燃料从油罐中放出，关闭点火系统。用电动机拖发动机运转1min，关闭电动机，关闭冷却水开关，用手转动飞轮到压缩冲程上死点。

(五)爆震测量仪表及调整

1.爆震测量仪表　包括信号发讯器，爆震仪和爆震表。

(1)信号发讯器　安装在汽缸头上的信号发讯器直接和燃烧气体相接触，它产生与汽缸内压力变化速率成正比例的电压，这是一个交流脉冲。汽缸内爆震倾向越严重，它产生的电压波幅值就越大。信号发讯器产生的电压信号由一根屏蔽电缆送至爆震仪。

信号发讯器是个精密的部件，不能自行拆卸和磁化。

(2)爆震仪　爆震仪将信号发讯器送来的信号加以整理，放大，为提高分辨能力，仪器设计有可调节阀值，仪器把阀值以下电压波减去，剩余部分进一步放大，将放大后的波形积分，成为直流低电压信号，送到爆震表。

(3)爆震表　爆震表实际上是一个毫伏表，由爆震仪送来的直流低电压用指针位置的形式显示。

一般情况下，信号发讯器，爆震仪和爆震表都不会发生故障，如有故障，可按说明书进行检查和维修。

2.爆震测量仪表的调整

(1)爆震表的零位调整　在不供电的情况下，调整爆震表上的调整螺丝，使爆震表指针指零。每月至少检查一次。

(2)爆震仪的零位调整　在爆震表零位调好以后，给爆震仪供电，将仪表开关放在“0”位上，时间常数放在“3”上，检查爆震表指针是否对零，如不在零位，可调整爆震仪板面下方的调整螺丝。调好以后，拧好防护螺母，以免误调。这样的调整，每天试验前应进行一次。

(3)调时间常数　调时间常数，就是调积分时间，即调仪表反应的灵敏度。位置“1”积分时间最短，反应的速度也最快，但仪表最不稳定；位置“6”积分时间最长，反应的速度也最慢，但仪表最稳定。通常应把时间常数调到“3”或“4”的位置上。

(4)调“仪表读数”　即调仪表信号的阀值，它的基础位置应在仪表调展宽时与“展宽”位置联合起来调整。

(5)调展宽　即调仪表的区分能力，合适的仪表展宽水平按(三)17 要求。以调整辛烷值为 90 时的展宽水平为例，具体步骤如下：

①用辛烷值为 90 的参比燃料操作发动机，使发动机工况满足(三)要求。

②逆时针方向旋转"仪表读数"和"展宽"旋钮，将粗调旋钮调到底，细调旋钮调到中间位置上。

③顺时针方向调整"展宽"粗调旋钮，大致放在 3 的位置上。

④顺时针方向调整"仪表读数"粗调旋钮，使爆震表指针大致指在中间位置上，可用细调旋钮来调整精确的读数。

⑤检查化油器燃料液面位置，使之获得最大爆震强度。在调整中如果爆震表最大读数不易获得，这说明展宽太小，在这种情况下，可以用(五)2.(5)⑨方法提高展宽水平。

⑥再次调整化油器液面高度，使之获得爆震表最大读数液面。

⑦重新调整"仪表读数"细调旋钮，使爆震表读数为 50±3。

⑧依据每个辛烷值爆震表读数的差值来确定实际的仪表展宽水平，最简单的办法是不换燃料，改变压缩比，观察爆震表指针位置的变化。如用辛烷值为 90 的参比燃料工作，则将压缩比调到辛烷值为 89，90，91(按表 2-32 要求)的数字计数器位置上，待平衡后，记录爆震表读数，其差值就是仪表展宽的水平。也可以用改变参比燃料而不改变压缩比的方法，如用辛烷值为 89，90，91 的参比燃料分别在发动机上工作，化油器燃料液面处于产生最大爆震强度的位置上，待爆震表指针稳定后，记录其读数，其差值即为仪表展宽的水平。

⑨提高展宽：顺时针方向调"展宽"细调旋钮，使爆震表指针为 100，再逆时针方向调"仪表读数"细调旋钮，使爆震表指针回到 50±3。如展宽幅度还不够，可重复上述步骤。

⑩减低展宽：逆时针方向调"展宽"细调旋钮，使爆震表指针为 20 或更低一些，再顺时针方向调"仪表读数"细调旋钮，使爆震表指针提高到 50±3，如展宽幅度还需减低，可重复上述步骤。

⑪在调整中，如发现细调旋钮的调整范围不能满足要求，就应与粗调旋钮配合使用，使之满足调整的需要。

⑫展宽幅度应为每个辛烷值 10—18 分度，如果每个辛烷值的展宽幅度大于 20 分度，操作时要多加小心。

(六)试验机标准状态的调整和检查

1.发动机标准爆震强度的初步检查　当发动机处于(三)标准试验条件下，符合(三)16 标准爆震强度的要求，关闭点火开关时，发动机应立即熄火。如不熄火，说明发动机的机械状态不良，这时应检查火花塞和发动机的燃烧室，清除积炭，修复后再重复上述操作。

2.最大爆震强度燃料-空气混合比和标准爆震强度的获得

(1)初步调整汽缸高度　将试样倒入化油器油罐中，并将液面调整到估计产生最大爆震强度位置上，旋转选择阀，使之用该燃料操作，待发动机处于标准状态后，调整汽缸高度，使爆震表指针指在 50 或者小一些的位置上。

(2)调整燃料-空气混合比　如液面高度在玻璃液面计上显示为 1.3，让爆震表指针达到平衡状态后，再按 0.1 的增量，把液面升高到 1.2、1.1、…，得到较富的燃料-空气混合比状态下的爆震表读数，直到爆震表读数至少比最大值降低 5 分度，再将燃料液面调回到使爆震表产生最大读数的位置上，如 1.2。然后再按同样方法，依次将液面调到 1.3、1.4、…，贫燃料-空气混合比状态下工作，直到爆震表读数比最大值降低 5 分度，再将燃料液面调回到使爆震表产生

最大读数的位置上，或者在产生同一爆震表读数的两个液面的中间位置上，如 1.25，这就是最大爆震强度燃料液面。检查上述调整正确性的方法是将液面调到偏离上述位置两侧各 0.1 的位置上，如 1.15 和 1.35，如读数都下降，说明前者调整是正确的；如有的读数增加了，说明前者调整有错，必须重新调整。

(3)化油器冷却　如燃料系统中发现气泡，应放出试样冷却。化油器冷却器可以用来冷却试样，若冷却温度过低，如低于 7℃就会影响试验结果，所以通常不要使用化油器冷却器。

(4)汽缸高度的进一步调整　在确定最大爆震强度燃料液面以后，爆震表读数可能不在 50±3，这时应调整汽缸高度，使爆震表读数为 50±3。

3. 校正评定特性

(1)发动机在标准试验条件下，进行基础甲苯标定燃料的标定试验，试验结果必须符合表 2-26 的要求。

(2)可以按照表 2-28 和表 2-29 更仔细的校正和检查。

(3)校正试验频繁程度的规定

①每天评定试验以前，都必须用基础甲苯标定燃料校正评定特性。

②校正试验的结果仅在 7h 内有效。

③当更换操作人员，停机超过 2h 或停机进行较大的检修和更换零部件时，都应重新校正评定特性。

④每天只选择与试样的辛烷值相接近的甲苯标定燃料进行试验。如果试样的辛烷值估计不出来，先测定试样的辛烷值，然后再校正评定特性，也是可以的。

4. 用检验燃料检查试验设备

(1)检验燃料是用来进一步检查试验设备的状况，它是由试验监督部门组织提供或指定使用的，其组分应比较安定，如由直馏汽油、重整汽油、烷基化汽油和苯类产品等组分调制而成。

(2)由试验监督部门不定期地组织检验燃料试验，以进一步的检查各试验设备的状况。

(七)用内插法评定试样

(1)在同一压缩比下进行(三)18 试验，试样的爆震表读数应在两个参比燃料的爆震表读数之间。

(2)必须按(二)和要求配制参比燃料。

(3)第一个内插参比燃料，按照(六)方法，确定试样产生标准爆震强度时的汽缸高度，根据此时的汽缸高度，用表 2-32 估算出试样的辛烷值。配制一个接近估算辛烷值的参比燃料，倒入化油器的一个油罐中，把燃料液面调到估计产生最大爆震强度的位置上，旋转选择阀，让发动机用这个参比燃料操作，再按照(六)2.(2)方法，调整燃料液面高度，使之获得最大爆震强度液面和最大爆震表读数，并作记录。

(4)第二个内插参比燃料，在进行第一个内插参比燃料试验后，可配制第二个参比燃料，预计上述两种参比燃料的爆震表读数应把试样的爆震表读数包括起来，这两个参比燃料的辛烷值差数不大于 2 个辛烷值单位。把调好的第二个参比燃料倒入化油器的第三个油罐中，用(六)2.(2)方法，调整燃料液面高度，使之获得最大爆震强度液面和最大爆震表读数，并作记录。如果这两种参比燃料的爆震表读数把试样的读数包括了，或者两者中的一个与试样的读数相同，则可按照(七)(7)继续试验。

(5)检查标准爆震强度的一致性　如果第一、二两个参比燃料的爆震表读数不能满足(七)(4)要求，则用已经测得的爆震表读数来估算试样的辛烷值。如汽缸高度与试样的辛烷值之间

的关系符合表 2-32 规定并按表 2-35 进行大气压力修正，差值能满足表 2-36 要求，则可按照（七）(6)方法继续试验，否则要调整汽缸高度，并相应地调整“仪表读数”，重复（七）(2)和（七）(3)操作。

(6)第三个内插参比燃料　如果第一、二两个参比燃料的爆震表读数不能把试样的读数包括起来，就应根据已测数据预算结果，选择第三个参比燃料，以替换前两者中的一个，并于另一个相配合，以达到把试样的爆震表读数包括起来的目的。

(7)读数规则　在取得一系列试样与参比燃料爆震表读数以后，再检查一次燃料液面，是否是最大爆震强度液面。按照下列顺序测量并记录每种燃料的爆震表读数：

①试样；

②第二个参比燃料；

③第一个参比燃料。重复测量时，参比燃料的顺序应对换一下。每次测量，都必须让爆震表指针稳定后再作记录。

(8)完成一次测试，至少需要下列测试记录次数。

①在下列情况下，需要两组数据

a. 第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差不大于 0.3 个辛烷值单位；

b. 试样的平均爆震表读数在 50±5 范围内。

②在下列情况下，需要三组数据

a. 第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差不大于 0.5 个辛烷值单位；

b. 第三组数据计算的辛烷值在前两者之间；

c. 试样的平均爆震表读数在 50±5 范围内。

③如果第一组数据和第二组数据计算辛烷值之差大于 0.5 个辛烷值单位，或者第三组数据计算的辛烷值不在前两组数据的中间，这些数据都不能用，必须按本方法（七）重新试验。

(9)检查标准爆震强度的一致性　如果试验结果满足了（七）(8)的要求，就可以根据本方法（八）计算出试样的辛烷值，但试样的辛烷值与汽缸高度的关系要符合表 2-32 要求，并按表 2-35 进行大气压力修正，其差值不超过表 2-36 要求。如汽缸高度不符合上述要求，则要调整到符合要求，并要重新测量和记录试验数据。

(10)对随后进行的试样的测定　随后测试样的测定，首先要调整好最大爆震强度燃料液面，必要时调整汽缸高度，使爆震表的读数为 50±3，再按照本方法（七），选择参比燃料，检查标准爆震强度的一致性。

如果试验开始时，甲苯标定燃料的试验结果是符合要求的，但是在随后的操作过程中，大气压力变化超过 0.67kPa(0.2inHg)，则要重做基础甲苯标定燃料的试验。

（八）试验结果的计算

(1)试验结果如符合（七）(8)要求，就可以进行计算。首先算出各种燃料的爆震表读数的平均值。

(2)将（八）(1)计算出的平均值，代入式(2-23)计算出试样的辛烷值。精确到二位小数：

$$X=\frac{b-c}{b-a}(A-B)+B \qquad (2-23)$$

式中　X—— 试样的辛烷值；

A—— 高辛烷值参比燃料的辛烷值；

B—— 低辛烷值参比燃料的辛烷值；

a——高辛烷值参比燃料的平均爆震表读数；

b——低辛烷值参比燃料的平均爆震表读数；

c——试样的平均爆震表读数。

(3)由(八)(2)计算的结果取一位小数的近似值。第二位小数在4以下者舍去，在6以上者进上，数值为5时，要根据第一位小数的数值来确定第二位小数的进或舍，当第一位小数为偶数时舍去，为奇数时进上。如95.55和95.65都应取为95.6。

(九)用压缩比法评定试样

(1)用压缩比法评定试样时，不需要与参比燃料相比较来确定试样的辛烷值。参比燃料只是用来建立标准爆震强度，试样只要和标准爆震强度相比较就可以被评定。

(2)建立标准爆震强度。用参比燃料建立标准爆震强度，是在发动机符合(三)标准试验条件下进行的，燃料液面高度也应处在产生最大爆震强度位置上。再调整压缩比，使参比燃料辛烷值与汽缸高度之间的关系符合表2-32并用表2-35进行大气压力修正，然后调"仪表读数"旋钮，使爆震指示器指针指向50。

(3)检查展宽是否符合(三)17要求，如不合适应进行调整，调整后要重做(九)(2)操作。

(4)用试样操作发动机，调整燃料液面为最大爆震强度燃料液面，调压缩比，使爆震表读数为50，记录此时的汽缸高度。

(5)建立标准爆震强度的参比燃料与试样辛烷值的最大允许差数　在不同的辛烷值区间，许可差数如下：

试样的辛烷值	参比燃料和试样辛烷值间最大允许差数	试样的辛烷值	参比燃料和试样辛烷值间最大允许差数
90以下	2.0	102—105	1.3
90～100	1.0	105以上	2.0
100～102	0.7		

(6)求出几次测量结果的平均值，查表2-32得到试样的辛烷值。

(7)检查标准爆震强度的频繁程度：对于辛烷值低于100的试样，每评定四个试样后需按(九)(2)检查标准爆震强度一次，对于辛烷值高于100的试样，每评定两个试样后检查一次；对于"敏感度大"的高辛烷值汽油，检查的频繁程度要更大些。

(十)精密度

用以下数值来判断本试验结果的可靠性(95%置信水平)。

1.重复性　本方法的重复性暂不作规定。

2.再现性　由不同操作者，在不同试验室对同一试样进行测定所提出的试验结果不应超出以下数值：

平均马达法辛烷值范围	辛烷值评定允许差	平均马达法辛烷值范围	辛烷值评定允许差
55～79	1.5	95	1.1
80	1.2	99	1.5
85	1.1	100.1	1.1
90	1.0	105	1.8

辛烷值处于上列数据之间者，再现性评定差限用内插法计算得到。

（十一）报告

（1）将从（八）（3）或（九）（6）获得的辛烷值报告为马达法辛烷值，简写为××.×/MON。

（2）对于马达法辛烷值高于100的航空汽油，可按表2-37或用高于100的马达法品度值=100+3（马达法辛烷值－100）换算为品度值，报告为马达法品度值，简写为×××.×/MPN。

表2-26 基础甲苯标定燃料

经校正的辛烷值	评定允许差数	仲裁试验评定允许差数	组成 w/(%)		
			甲苯	异辛烷	正庚烷
57.8	±0.6	±0.6	50	0	50
66.5	±0.6	±0.3	58	0	42
74.4	±0.6	±0.3	66	0	34
81.1	±0.6	±0.3	74	0	26
84.9	±0.6	±0.3	74	5	21
88.5	±0.6	±0.3	74	10	16
92.5	±0.6	±0.3	74	15	11
96.8	±0.6	±0.3	74	20	6
100.8	±0.6	±0.3	74	26	0

表2-27 参比燃料规格标准

分析项目	异辛烷	正庚烷
马达法辛烷值	100.0±0.1	0.0±0.2
20℃时密度 ρ/g·ml^{-1}	0.69193±0.00015	0.68380±0.00015
折光率 n_D^{20}	1.39145±0.0001	1.38770±0.0005
凝固点 t/℃	最低－107.442	最低－90.710
回收50%(101.3kPa)t/℃	99.238±0.025	98.427±0.025
回收差数(80%～20%)，℃	最大0.020	最大0.020
铅含量 c/g·L^{-1}	不大于0.0005	不大于0.0005

表2-28 甲苯、异辛烷和正庚烷燃料混合物对应的辛烷值和仲裁试验评定公差

辛烷值	评定公差	混合物组成 w/(%)		
		甲苯	异辛烷	正庚烷
57.8①	±0.6	50	0	50
61.0		52	0	48
62.2		54	0	46
64.4		56	0	44
66.5①	±0.3	58	0	42
68.5		60	0	40
70.5		62	0	38
72.5		64	0	36
74.4①		66	0	34
76.1		68	0	32

续表

辛烷值	评定公差	混合物组成 $w/(\%)$		
		甲苯	异辛烷	正庚烷
77.9		70	0	30
79.5		72	0	28
81.1①	±0.3	74	0	26
82.7		74	0	24
84.1		74	0	22
84.9①	±0.3	74	5	21
85.5		74	6	20
87.0		74	8	18
88.5①	±0.3	74	10	16
90.0		74	12	14
91.7		74	14	12
92.5①	±0.3	74	15	11
93.4		74	10	10
95.1		74	18	8
96.8①	±0.4	74	20	6
98.2		74	22	4
99.5		74	24	2
100.8①	±0.4	74	26	0
104.0②		25	75	0
106.8③		25	75	0

①这些基础标定燃料辛烷值是测定的结果，而其余部分的辛烷值是由这 9 种油的结果制成修正曲线而得到的。
②混合物每升含四乙基铅 0.26ml。
③混合物每升含四乙基铅 0.53ml。

表 2-29　异辛烷、正庚烷和四乙基铅的燃料混合物对应的辛烷值和仲裁试验评定公差

辛烷值	评定公差	混合物组成		
		异辛烷(体积分数)%	正庚烷(体积分数)%	四乙基铅 c/ml·L^{-1}
61.6	±0.8	30	70	0.53
75.7	±0.5	50	50	0.53
85.2	±0.5	65	35	0.53
88.2	±0.5	70	30	0.53
91.8	±0.5	75	25	0.53
96.2	±0.5	80	20	0.53
100.9	±0.5	85	15	0.53
104.3	±0.5	90	10	0.53
108.8	±0.5	95	5	0.53
111.9	±0.5	99	1	0.53

表 2-30 参比燃料级甲苯规格标准

外观		透明液体，无不溶水及机械杂质
颜色，	不深于	20
密度(20℃)，ρ/g·cm^{-3}		0.865～0.868
馏程：		
初馏点 t/℃	不低于	110.3
终馏点 t/℃	不高于	111.0
烃类杂质含量：		
苯含量(质量分数)，%	不大于	0.10
C_8 芳烃含量(质量分数)，%	不大于	0.10
非芳烃含量(质量分数)，%	不大于	0.15
酸洗比色，号	不深于	4
总硫含量 c/g·ml^{-1}	不大于	2×10^{-6}
铜片腐蚀		合格
中性试验		中性

表 2-31 马达法平均压缩压力

大气压力 P/inHg	29.92	31.00	29.00	28.00
校正因子[①]	1.000	1.036	0.969	0.936
相当的计数器单位	平均压缩压力(文丘利管直径 14.3mm，lbf·in^{-2})			
17	77.5	80.5	75.0	72.5
158	85.5	88.5	83.0	80.0
299	95.0	98.5	92.0	89.0
440	106.0	110.0	103.0	99.0
581	120.0	124.5	116.5	112.5
722	137.5	142.5	133.0	128.5
863	161.0	167.0	156.0	150.5
1004	193.0	200.0	187.0	180.5
1145	236.5	245.0	229.0	221.5

① 校正因子 $=\dfrac{\text{视压力}}{\text{气压计为 29.92inHg 时的压缩压力}}$。

表 2-32 海拔高度为 0m～500m，大气压力为 101.3kPa[①]，喉管直径为 14.29mm 时，标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表[②]

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
40	171	171	172	172	173	174	175	175	176	176
41	176	177	178	178	179	179	180	180	181	182
42	182	183	184	185	185	186	186	187	188	188
43	189	189	190	190	191	192	192	193	194	195
44	195	196	196	197	197	198	199	199	200	201
45	202	202	203	203	204	204	205	206	207	207
46	208	209	209	210	211	212	212	213	213	214
47	214	215	216	217	218	219	219	220	220	221
48	221	222	223	224	225	226	226	227	227	228
49	228	229	230	231	232	233	233	234	234	235
50	235	236	237	238	239	240	241	242	243	243

续表

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0:9
	数字计数器读数									
51	244	244	245	245	246	247	248	249	250	250
52	251	252	252	253	254	255	256	257	257	258
53	259	259	260	261	262	263	264	265	265	266
54	266	267	268	269	270	271	272	273	274	274
55	275	275	276	277	278	279	280	281	282	282
56	283	283	284	285	286	287	288	289	290	291
57	292	292	293	294	295	296	297	298	299	299
58	300	301	302	303	304	305	306	306	307	307
59	308	309	310	311	312	313	314	315	316	316
60	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326
61	327	328	329	329	330	331	332	333	334	335
62	336	337	337	338	339	340	341	342	344	344
63	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354
64	355	356	357	357	358	359	360	361	362	363
65	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373
66	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383
67	384	385	386	388	389	390	391	392	393	394
68	395	396	397	398	399	400	401	402	403	405
69	406	407	408	409	410	412	413	414	415	416
70	417	419	420	421	422	423	424	426	427	428
71	429	430	431	433	434	436	437	438	439	440
72	441	443	444	445	446	447	448	450	451	453
73	454	455	457	458	460	461	462	463	464	465
74	467	468	470	471	472	474	475	477	478	479
75	481	482	484	485	486	488	489	491	492	494
76	495	496	498	499	501	502	503	505	506	508
77	509	510	512	513	515	517	519	520	522	524
78	526	527	529	531	533	534	536	537	539	540
79	542	534	546	548	550	551	553	554	556	558
80	560	562	564	565	567	568	570	571	573	575
81	577	578	580	582	584	585	587	589	591	592
82	594	596	598	599	601	603	605	606	608	610
83	612	613	615	617	619	620	622	623	625	627
84	629	631	633	635	637	639	641	643	644	646
85	648	650	652	654	656	658	660	662	664	666
86	668	670	672	674	675	677	679	681	683	685
87	688	690	692	694	695	698	699	702	704	706
88	708	709	712	714	716	718	721	722	725	726
89	728	730	732	735	736	739	740	743	745	746
90	749	750	753	754	757	759	761	763	764	767

续表

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
91	769	771	773	776	777	780	781	783	785	787
92	790	791	794	795	798	800	801	804	805	808
93	809	812	814	816	818	819	822	824	826	828
94	831	832	835	836	838	840	842	845	846	849
95	850	852	855	856	859	860	863	864	866	869
96	870	873	874	876	879	880	881	884	886	888
97	890	891	894	895	897	900	901	904	905	907
98	910	911	912	915	917	918	921	922	924	926
99	928	929	931	934	935	936	939	941	942	945
100	948	949	950	952	953	955	956	957	959	960
101	960	962	963	965	966	967	969	970	972	973
102	974	976	977	979	980	980	981	983	984	986
103	987	988	988	990	991	991	993	993	994	994
104	995	997	998	1 000	1 001	1 003	1 004	1 005	1 006	1 007
105	1 008	1 010	1 011	1 012	1 014	1 015	1 016	1 017	1 018	1 019
106	1 020	1 021	1 022	1 024	1 025	1 026	1 027	1 028	1 029	1 030
107	1 031	1 032	1 033	1 034	1 035	1 036	1 037	1 038	1 039	1 040
108	1 041	1 041	1 042	1 043	1 044	1 045	1 046	1 046	1 047	1 048
109	1 049	1 050	1 051	1 052	1 053	1 053	1 054	1 055	1 056	1 057
110	1 058	1 058	1 059	1 060	1 061	1 062	1 063	1 063	1 064	1 065
111	1 066	1 067	1 068	1 069	1 069	1 070	1 071	1 072	1 073	1 073
112	1 074	1 075	1 076	1 077	1 078	1 079	1 080	1 080	1 081	1 082
113	1 083	1 084	1 084	1 085	1 086	1 087	1 088	1 089	1 090	1 091
114	1 092	1 093	1 093	1 094	1 095	1 096	1 097	1 097	1 098	1 099
115	1 100	1 101	1 101	1 103	1 103	1 104	1 105	1 105	1 107	1 107
116	1 108	1 110	1 110	1 111	1 111	1 112	1 114	1 114	1 115	1 115
117	1 117	1 118	1 118	1 120	1 120	1 121	1 122	1 122	1 124	1 124
118	1 125	1 125	1 127	1 128	1 128	1 129	1 129	1 131	1 131	1 132
119	1 132	1 134	1 134	1 135	1 136	1 136	1 138	1 139	1 141	1 141
120	1 142	1 142	1 144	1 145						

①其他大气压的校正值见表 2-35。

②允许差数：辛烷值 85 以下为±28 计数器单位；85 以上为±3.5 计数器单位。

表 2-33 海拔高度为 500m～1 000m，大气压力为 101.3kPa①，喉管直径为 15.08mm 时，标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表②

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
40	45	45	46	47	48	48	49	49	50	51
41	52	53	54	54	55	55	56	56	57	58
42	59	60	61	61	62	62	63	63	64	65
43	66	67	68	68	69	69	70	70	71	72

续表

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
44	73	74	75	75	76	76	77	78	79	79
45	80	81	82	83	85	85	85	86	86	87
46	87	88	89	90	92	92	92	93	94	94
47	95	96	77	98	99	99	100	100	101	102
48	103	104	105	106	107	107	108	109	110	110
49	111	111	112	113	114	115	116	117	117	118
50	119	120	121	121	122	123	124	125	126	127
51	127	128	129	130	131	132	133	133	134	135
52	136	137	138	138	139	140	141	142	143	144
53	144	145	146	147	148	149	150	151	151	152
54	153	154	155	156	157	158	159	160	161	161
55	162	163	164	165	167	167	168	169	170	171
56	172	173	174	175	177	177	178	179	179	180
57	181	182	183	184	186	186	187	188	189	190
58	191	192	193	194	196	196	197	198	199	200
59	201	202	203	204	206	206	207	209	210	211
60	212	213	214	215	217	217	219	220	220	221
61	223	224	225	226	228	228	229	230	231	232
62	233	234	235	237	239	239	240	241	243	244
63	245	246	247	248	251	251	252	253	254	255
64	257	258	259	260	262	262	264	265	266	267
65	268	269	271	272	274	275	276	278	279	280
66	281	282	283	285	286	288	289	290	291	292
67	293	295	296	298	299	300	302	303	305	306
68	307	309	310	312	314	314	315	316	317	319
69	320	321	323	324	323	327	329	330	331	333
70	334	336	337	338	340	341	343	344	345	347
71	348	350	351	352	354	355	357	359	361	362
72	364	365	367	368	369	371	372	374	375	376
73	378	379	381	383	385	386	388	389	391	392
74	393	395	397	399	400	402	403	405	406	408
75	410	412	413	415	416	418	420	422	423	424
76	426	428	430	431	433	434	436	438	440	441
77	443	444	446	448	450	451	453	455	457	458
78	460	461	463	465	467	468	470	472	474	475
79	477	479	481	482	484	486	488	489	491	493
80	495	497	499	501	502	504	506	508	510	512
81	513	515	517	519	520	522	524	526	538	530
82	532	534	536	537	539	541	543	545	547	548
83	550	552	554	556	558	560	562	564	566	568

续表

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
84	570	572	574	576	578	580	582	584	585	587
85	589	591	593	595	597	599	601	603	605	607
86	609	611	613	615	617	619	621	623	625	627
87	629	631	633	634	636	638	640	642	644	647
88	649	651	653	655	657	659	661	663	665	667
89	669	671	673	675	677	679	681	683	685	687
90	689	691	693	695	697	699	702	704	706	708
91	710	712	714	716	718	720	722	724	726	728
92	730	732	734	736	738	740	742	744	746	748
93	750	752	754	757	759	761	763	765	767	769
94	771	773	775	777	779	781	783	785	787	789
95	791	793	795	797	799	801	803	805	807	809
96	811	813	815	817	819	821	823	825	827	829
97	830	832	834	836	838	840	842	844	846	848
98	850	852	854	856	857	859	861	863	865	867
99	869	870	872	874	876	877	879	881	883	885
100	887	890	892	894	895	897	898	900	902	904
101	905	907	909	911	913	915	917	919	921	922
102	924	926	927	928	930	932	933	935	937	939
103	940	941	942	943	945	946	948	949	950	952
104	953	955	956	957	959	960	961	962	963	964
105	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974
106	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983
107	984	985	986	987	987	988	989	990	991	992
108	993	993	994	995	995	996	997	998	999	1 000
109	1 001	1 001	1 002	1 003	1 004	1 004	1 005	1 005	1 006	1 007
110	1 008	1 008	1 009	1 009	1 010	1 010	1 011	1 012	1 012	1 013
111	1 013	1 014	1 014	1 015	1 016	1 017	1 018	1 018	1 019	1 020
112	1 021	1 022	1 023	1 024	1 025	1 025	1 026	1 027	1 028	1 028
113	1 029	1 029	1 030	1 031	1 032	1 033	1 034	1 035	1 036	1 037
114	1 038	1 039	1 040	1 041	1 042	1 042	1 043	1 044	1 045	1 046
115	1 046	1 048	1 048	1 049	1 049	1 050	1 053	1 052	1 053	1 053
116	1 055	1 056	1 056	1 058	1 059	1 060	1 060	1 062	1 063	1 063
117	1 065	1 066	1 066	1 067	1 067	1 069	1 070	1 070	1 072	1 072
118	1 073	1 074	1 074	1 076	1 076	1 077	1 077	1 079	1 079	1 080
119	1 080	1 081	1 081	1 083	1 083	1 084	1 086	1 086	1 087	1 089
120	1 089	1 090	1 090	1 091						

①其他大气压的校正值见表 2-35。

②允许差数：辛烷值 85 以下为±28 计数器单位；85 以上为±35 计数器单位。

表 2-34　海拔高度为 1 000m 以上，大气压力为 101.3kPa[①]，喉管直径为 19.05mm 时，标准爆震强度数字计数器读数与马达法辛烷值对照表[②]

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	—	—	0	0	1	2	3	3	4	4
42	5	6	7	7	8	9	10	10	11	11
43	12	13	14	15	16	16	17	17	18	18
44	19	20	21	22	23	23	24	24	25	26
45	27	28	28	29	30	31	31	32	33	34
46	34	35	35	36	37	38	38	39	40	41
47	42	43	44	44	45	45	46	47	48	48
48	49	50	51	52	53	54	54	55	56	56
49	57	58	59	60	61	62	62	63	63	64
50	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73
51	74	75	76	76	77	78	79	79	80	81
52	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
53	91	92	93	93	94	95	96	97	98	99
54	100	101	102	103	103	104	105	106	107	108
55	109	110	110	111	112	113	114	115	116	117
56	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
57	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
58	138	139	140	141	141	142	144	145	146	147
59	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157
60	158	159	160	161	162	164	165	166	167	168
61	169	170	171	172	173	174	175	176	178	179
62	180	181	182	183	185	186	187	188	189	190
63	192	193	194	195	196	197	199	200	201	202
64	203	204	206	207	208	209	210	212	213	214
65	215	216	217	219	220	221	223	224	225	226
66	227	228	230	231	233	234	235	237	238	239
67	240	241	243	244	245	247	248	250	251	252
68	254	255	257	258	259	260	261	262	264	265
69	266	268	269	271	272	274	275	276	278	279
70	281	282	283	285	286	288	289	290	292	293
71	295	296	298	399	300	302	303	305	307	309
72	310	312	313	314	316	317	319	320	321	323
73	324	326	327	329	331	333	334	336	337	338
74	340	341	343	345	347	348	350	351	352	354
75	356	358	360	361	362	364	366	368	369	371
76	372	374	376	378	379	381	382	384	386	388
77	389	391	393	395	396	398	399	401	403	405
78	406	408	410	412	413	415	417	419	420	422
79	424	426	427	429	430	432	434	436	438	440

续表

马达法辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	数字计数器读数									
80	441	443	445	447	448	450	452	454	456	458
81	460	461	463	465	467	469	471	472	474	476
82	478	480	482	484	485	487	489	491	493	495
83	497	499	501	502	504	506	508	510	512	514
84	516	518	520	522	524	526	528	530	532	534
85	536	538	540	541	543	545	547	549	551	553
86	555	557	559	561	563	565	567	569	571	573
87	575	577	579	581	583	585	587	589	591	593
88	595	597	599	601	603	605	607	609	612	614
89	615	617	619	621	623	626	628	630	632	634
90	636	638	640	642	644	646	648	650	652	654
91	656	658	660	662	664	666	668	670	672	674
92	676	678	681	683	685	687	689	691	693	695
93	697	699	701	703	705	707	709	711	713	715
94	717	719	721	723	725	727	729	731	733	735
95	737	739	741	743	745	747	750	752	754	756
96	758	760	761	763	765	767	769	771	773	775
97	777	779	781	783	785	787	789	791	792	794
98	796	798	800	802	804	806	808	809	811	813
99	815	816	818	820	822	824	826	828	829	831
100	833	836	839	840	842	843	845	847	849	851
101	852	853	855	857	860	862	863	865	867	869
102	870	872	874	875	876	878	880	882	884	885
103	886	887	888	890	891	893	894	895	897	898
104	900	901	902	904	905	906	907	908	909	911
105	912	913	914	915	916	916	917	918	919	920
106	921	922	923	924	925	925	926	927	928	929
107	930	931	932	933	934	935	936	936	937	938
108	939	939	940	941	942	943	944	945	946	946
109	947	948	948	949	949	950	951	952	953	953
110	954	955	955	956	956	957	957	958	958	959
111	959	960	961	962	962	963	964	965	966	966
112	967	968	969	970	971	971	972	973	974	975
113	976	976	977	977	978	979	980	981	982	983
114	984	985	986	986	987	988	989	990	991	992
115	993	994	994	995	997	997	998	1 000	1 001	1 001
116	1 003	1 004	1 004	1 005	1 005	1 007	1 008	1 008	1 010	1 010
117	1 011	1 012	1 012	1 014	1 014	1 015	1 017	1 017	1 018	1 018
118	1 019	1 021	1 021	1 022	1 022	1 024	1 024	1 025	1 025	1 020
119	1 026	1 028	1 028	1 029	1 029	1 031	1 032	1 032	1 034	1 034
120	1 035	1 035	1 036	1 038						

①其他大气压的校正值见表 2-35。

②允许差数：辛烷值 85 以下为±28 计数器单位；85 以上为 35 计数器单位。

表 2-35 用于应用标准爆震强度表的计数器读数和各种不同气压计数器读数的校正值[1]

（马达法）

大气压力 P/kPa(inHg)		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	为校正实际大气压数字计数器读数，对表 2-32、2-33、2-34 数值中加上下列数值 为校正实际大气压视数字计数器读数，由计数器读数减去下列数值										
74.5(22.0)	计数器校正值	336	331	327	323	319	314	310	306	302	298
77.9(23.0)	计数器校正值	293	289	285	281	276	272	268	264	259	255
81.2(24.0)	计数器校正值	251	247	243	238	234	230	226	221	217	213
84.7(25.0)	计数器校正值	209	204	200	196	192	188	183	179	175	171
88.0(26.0)	计数器校正值	166	162	158	154	149	145	141	137	133	128
91.4(27.0)	计数器校正值	124	120	116	111	107	103	99	94	90	86
94.8(28.0)	计数器校正值	82	78	73	69	65	61	56	52	48	44
98.2(29.0)	计数器校正值	39	35	31	27	23	18	14	10	6	1
	为校正实际大气压数字计数器读数，对表 2-32、2-33、2-34 数值中减去下列数值 为校正实际大气压视数字计数器读数，将下列数值加在数字计数器读数上										
101.6(30.0)	计数器校正值	3	7	11	16	20	24	28	32	37	41

[1] 调整计数器指示器使底部计数按实际气压补偿如下：对气压数值小于 101.3kPa(29.92inHg)时，提高或降低计数器驱动钮，使其处于分离位置，再调整气缸高度，使上部计数比下部计数大出相当于上面所列指示器校正值；对气压大于 101.3kPa(29.92inHg)时，调整计数器使下部读数比上部读数大出相当于校正数的数值。调整后，使计数器归还 1 号位置。

表 2-36 标准爆震强度汽缸高度公差

辛烷值范围	计数器读数	辛烷值范围	计数器读数
85 以下	±28	100 以下	—
85 以上	±35	100 以上	±35

表 2-37 100 以上辛烷值换算为品度值表

辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
100	100.0	100.3	100.6	100.9	101.2	101.5	101.8	102.1	102.4	102.7
101	103.0	103.3	103.6	103.9	104.2	104.5	104.8	105.1	105.4	105.7
102	106.0	106.3	106.6	106.9	107.2	107.5	107.8	108.1	108.4	108.7
103	109.0	109.3	109.6	109.9	110.2	110.5	110.8	111.1	111.4	111.7
104	112.0	112.3	112.6	112.9	113.2	113.5	113.8	114.1	114.4	114.7
105	115.0	115.3	115.6	115.9	116.2	116.5	116.8	117.1	117.4	117.7
106	118.0	118.3	118.6	118.9	119.2	119.5	119.8	120.1	120.4	120.7
107	121.0	121.3	121.6	121.9	122.2	122.5	122.8	123.1	123.4	123.7
108	124.0	124.3	124.6	124.9	125.2	125.5	125.8	126.1	126.4	126.7
109	127.0	127.3	127.6	127.9	128.2	128.5	128.8	129.1	129.4	129.7
110	130.0	130.3	130.6	130.9	131.2	131.5	131.8	132.1	132.4	132.7
111	133.0	133.3	133.6	133.9	134.2	134.5	134.8	135.1	135.4	135.7
112	136.0	136.3	136.6	136.9	137.2	137.5	137.8	138.1	138.4	138.7
113	139.0	139.3	139.6	139.9	140.2	140.5	140.8	141.1	141.4	141.7
114	142.0	142.3	142.6	142.9	143.2	143.5	143.8	144.1	144.4	144.7
115	145.0	145.3	145.6	145.9	146.2	146.5	146.8	147.1	147.4	147.7
116	148.0	148.3	148.6	148.9	149.2	149.5	149.8	150.1	150.4	150.7

续表

辛烷值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
117	151.0	151.3	151.6	151.9	152.2	152.5	152.8	153.1	153.4	153.7
118	154.0	154.3	154.6	154.9	155.2	155.5	155.8	156.1	156.4	156.7
119	157.0	157.3	157.6	157.9	158.2	158.5	158.8	159.1	159.4	159.7
120	160.0	160.3	160.6	160.9						

主要参考文献

1. R. C. Weast, ed. Handbook of Chemisty and Physies. 63rd. Ed. Cleveland, CRC Press, Inc. , 1982-1983.
2. 孙尔康等四人编．化学实验基础．南京：南京大学出版社，1991.
3. 冶金分析试剂的提纯与配制编写组编．冶金分析试剂的提纯与配制．北京：冶金工业出版社，1973.
4. Ю・В・卡里亚金．И・И・安格洛夫编，任道华译．纯化学物质的制备．太原：山西科学教育出版社，1986.

第二篇　准备工作及试剂

第三章　试剂和溶液

第一节　一般问题

一、化学试剂分类

化学试剂是一类具有各种纯度标准，用于教学、科学研究、分析测试，并可作为某些新兴工业所需的纯和特纯的功能材料和原料的精细化学品。化学试剂种类繁多，目前尚无统一分类方法。我国编制的化学试剂经营目录，按试剂用途—化学组成将化学试剂分为十大类，如表 3-1 所示。

表 3-1　化学试剂分类表

序号	名　称	说　明
1	无机分析试剂	用于化学分析的无机化学品，如金属，非金属单质，氧化物、酸、碱、盐等试剂
2	有机分析试剂	用于化学分析的有机化学品，如烃、醛、酮、醚及其衍生物
3	特效试剂	在无机分析中测定、分离、富集元素时所专用的一些有机试剂，如沉淀剂、显色剂、螯合剂等
4	基准试剂	主要用于标定标准溶液的浓度。这类试剂的特点是纯度高，杂质少、稳定性好，化学组成恒定
5	标准物质	用于化学分析、仪器分析时作对比的化学标准品，或用于校准仪器的化学品
6	指示剂和试纸	用于滴定分析中指示滴定终点，或用于检验气体或溶液中某些物质存在的试剂。试纸是用指示剂或试剂溶液处理过的滤纸条
7	仪器分析试剂	用于仪器分析的试剂
8	生化试剂	用于生命科学研究的试剂
9	高纯物质	用作某些特殊需要的工业材料（如电子工业原材料、单晶、光导纤维）和一些痕量分析用试剂。其纯度一般在 4 个“9”（99.99%）以上，杂质总量控制在 0.01%以下
10	液晶	液晶是液态晶体的简称，它既具有流动性、表面张力等液体的特征，又具有光学各向异性、双折射等固态晶体的特征

二、化学试剂规格

化学试剂规格又称试剂级别，反映试剂的质量。试剂规格一般按试剂的纯度、杂质含量来划分。为了保证和控制试剂产品的质量，国家或有关部门制订和颁布“试剂标准”，对试剂的规格标准和检验的方法标准作出规定。我国自 1978 年以来在原化学工业部制订的部颁标准（HG）的基础上，经过修订后陆续颁布了《国家标准·化学试剂》。

我国的试剂规格基本上按纯度划分为高纯、光谱纯、基准、分光纯、优级纯、分析纯和化学纯等 7 种。国家和主管部门颁布质量指标的主要是优级纯、分析纯和化学纯等 3 种规格（见表 3-2）。

选用试剂的主要依据是该试剂所含杂质对分析要求有无影响，若试剂纯度不符合要求，应对试剂进行纯化处理。

表 3-2 化学试剂规格

名　　称	级别	代号	标志颜色	应　　　用
优级纯试剂（保证试剂）	一级	GR	绿色	纯度最高、杂质含量最低，适用于最精密分析工作和科学研究工作
分析纯试剂	二级	AR	红色	纯度略次于优级纯、适用于重要分析工作及一般研究工作
化学纯试剂	三级	CP	蓝色	纯度与分析纯相差较大，适用于工矿、学校一般分析工作

三、溶液浓度表示方法

溶液浓度是指一定量（质量或体积）的溶液中所含的溶质的数量。制备试剂溶液必须标明溶液的浓度。分析工作中常用的溶液浓度表示方法如表 3-3 所示。

表 3-3 溶液浓度表示方法

序号	名　称	符号	单位	含　　义
1	密度	ρ	$g \cdot ml^{-1}$	在规定温度下单位体积物质的质量
2	物质 B 的物质的量浓度	c_B	$mol \cdot L^{-1}$	物质 B 的量除以混合物的体积。物质的量的国际单位制基本单位是摩尔，其定义：摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012kg 碳-12 的原子数目相等。在使用摩尔时，基本单元应予指明，可以是原子、分子、离子、电子及其他核子，或是这些核子的特定组合
3	物质 B 的质量摩尔浓度	b_B，m_B	$mol \cdot kg^{-1}$	物质 B 的物质的量除以混合物的质量
4	体积比浓度	$A+B$		由 A 体积的试剂与 B 体积的稀释剂混合而成
5	物质 B 的质量浓度	ρ_B	$g \cdot L^{-1}$	单位体积中含有溶质的质量
6	体积分数	φ	%	100ml 溶液中含有液体溶质的体积（ml）数
7	质量分数	w	%	100g 溶液中含有溶质的质量（g）数
8	滴定度	T	$g \cdot ml^{-1}$	有两种表示方法：（1）每毫升标准溶液中含有滴定剂的克数，用 T_A 表示，A 是滴定剂的化学式（2）每毫升标准溶液相当于被测物质的克数，用 $T_{A/B}$ 表示，A 是滴定剂的化学式，B 是被测物质的化学式

第二节　普通酸、碱及盐类溶液的配制

一、酸溶液的配制

1. 盐酸（HCl）　浓盐酸的密度 1.18～1.19g・ml^{-1}，含量 w=36%～38%，近似浓度 c（HCl）约 12mol・L^{-1}。

c(HCl)＝1mol・L^{-1}盐酸配制：量取浓盐酸 83ml，加水稀释至 1L。

c(HCl)＝6mol・L^{-1}盐酸配制：量取浓盐酸 500ml，加水稀释至 1L。

2. 硝酸（HNO_3）　浓硝酸的密度（1.39～1.40）g/ml，含量 w=65%～68%，近似浓度 c（HNO_3）约 15mol・L^{-1}。

c(HNO_3)＝1mol・L^{-1}硝酸配制：量取浓硝酸 64ml，加水稀释至 1L，用棕色瓶贮存。

c(HNO_3)＝6mol・L^{-1}硝酸配制：量取浓硝酸 381ml，加水稀释至 1L，用棕色瓶贮存。

3. 硫酸（H_2SO_4）　浓硫酸的密度（1.83～1.84）g/ml，含量 w=95%～98%，近似浓度 c（H_2SO_4）约 18mol・L^{-1}。

c（H_2SO_4）＝1mol・L^{-1}硫酸配制：量取 56ml 浓硫酸，在不断搅拌下缓缓加入适量水中，待冷却至室温后，加水至 1L。（配制硫酸溶液，有大量热量放出，必须注意安全，硫酸宜缓慢加入，溶液应不断搅拌）。

c ($1/2H_2SO_4$) $=2mol \cdot L^{-1}$硫酸配制：量取56ml浓硫酸，在不断搅拌下缓缓加入适量水中，待冷却至室温后，加水至1L。

4. 磷酸（H_3PO_4）　浓磷酸的密度1.69g·ml^{-1}，含量$w=85\%$，近似浓度c（H_3PO_4）约15mol·L^{-1}。

c（H_3PO_4）$=1mol \cdot L^{-1}$磷酸配制：量取浓磷酸66ml，缓慢加入适量水中，稀释至1L。

5. 高氯酸（$HClO_4$）　浓高氯酸的密度1.68g·ml^{-1}，含量$w=70\%$，近似浓度c（$HClO_4$）约12mol·L^{-1}。

c（$HClO_4$）$=1mol \cdot L^{-1}$高氯酸配制：量取浓高酸83ml，缓缓加入适量水中，稀释至1L。

6. 氢氟酸（HF）　浓氢氟酸的密度1.13g·ml^{-1}，含量$w=40\%$，近似浓度c（HF）约22.5mol·L^{-1}。

c（HF）$=1mol \cdot L^{-1}$氢氟酸配制：量取浓氢氟酸35ml，加入适量水中，稀释至1L。用塑制容器贮存。

7. 氢溴酸（HBr）　浓氢溴酸的密度1.49g·ml^{-1}，含量$w=47\%$，近似浓度c（HBr）约9mol·L^{-1}。

c（HBr）$=1mol \cdot L^{-1}$氢溴酸配制：量取浓氢溴酸110ml，加入适量水中，稀释至1L。

8. 冰乙酸（CH_3COOH）　密度1.05g·ml^{-1}，近似浓度约17mol·L^{-1}。

c（CH_3COOH）$=1mol \cdot L^{-1}$乙酸配制：量取冰乙酸60ml，加入适量水中，稀释至1L。

二、碱溶液的配制

1. 氢氧化钠（NaOH）　白色固体。

c（NaOH）$=1mol \cdot L^{-1}$氢氧化钠溶液配制：将称取的40g氢氧化钠，分几次加入适量水中，不断搅拌（注意：溶解时大量发热！），溶解后让其冷却至室温，加水稀释至1L。用塑制容器贮存。

2. 氢氧化钾（KOH）　白色固体。

c（KOH）$=1mol \cdot L^{-1}$氢氧化钾溶液配制：称取56g氢氧化钾，分几次加入适量水中，不断搅拌使其溶解，冷却至室温后加水稀释至1L。用塑制容器贮存。

3. 氨水（$NH_3 \cdot H_2O$）　浓氨水密度（0.90～0.91）g·ml^{-1}，含NH_3 $w=28\%$，近似浓度c（$NH_3 \cdot H_2O$）$\approx 15mol \cdot L^{-1}$。

c（$NH_3 \cdot H_2O$）$=1mol \cdot L^{-1}$氨水溶液配制：量取66ml浓氨水，用水稀释至1L。

4. 氢氧化钙饱和溶液　$c[Ca(OH)_2] \approx 0.02mol \cdot L^{-1}$。

5. 氢氧化钡饱和溶液　$c[Ba(OH)_2] \approx 0.2mol \cdot L^{-1}$。

三、盐溶液的配制

表3-4　盐溶液的配制

名　称	浓　度 c/mol·L^{-1}	配　制　方　法
硝酸银	$c(AgNO_3)=1$	169.87g $AgNO_3$，溶于适量水中，稀释成1L，用棕色瓶贮存
硝酸铝	$c[Al(NO_3)_3]=1$	375.13g $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$，溶于适量水中，稀释成1L
氯化铝	$c(AlCl_3)=1$	133.34g $AlCl_3$，溶于适量水中，稀释成1L
硫酸铝	$c[Al_2(SO_4)_3]=1$	666.41g $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$，溶于适量水中，稀释成1L
氯化钡	$c(BaCl_2)=0.1$	20.824g $BaCl_2 \cdot H_2O$，溶于适量水中，稀释成1L
硝酸钡	$c[Ba(NO_3)_2]=0.1$	26.13g $Ba(NO_3)_2$，溶于适量水，稀释至1L

续表

名 称	浓 度 c/mol·L^{-1}	配 制 方 法
硝酸铋	c〔Bi(NO_3)$_3$〕=0.1	39.5g Bi(NO_3)$_3$，溶于适量1:5硝酸中，用1:5硝酸稀释成1L
氯化铋	c($BiCl_3$)=1	315.34g $BiCl_3$，溶于1:5盐酸中，用1:5盐酸稀释成1L
氯化钙	c($CaCl_2$)=1	219.8g $CaCl_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水，稀释至1L
硝酸钙	c〔Ca(NO_3)$_2$〕=1	236.15g Ca(NO_3)$_2\cdot 4H_2O$，溶于适量水，稀释至1L
硝酸镉	c〔Cd(NO_3)$_2$〕=0.1	30.849g Cd(NO_3)$_2\cdot 4H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化镉	c($CdCl_2$)=0.1	18.321g$CdCl_2\cdot 2\frac{1}{2}H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸镉	c($CdSO_4$)=0.1	28.05g$CdSO_4\cdot 4H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸钴	c〔Co(NO_3)$_2$〕=1	291.03gCo(NO_3)$_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化钴	c($CoCl_2$)=1	237.93g$CoCl_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸钴	c($CoSO_4$)=1	281.10g$CoSO_4\cdot 7H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸铬	c〔Cr(NO_3)$_3$〕=0.1	23.81gCr(NO_3)$_3$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化铬	c($CrCl_3$)=0.1	26.645g$CrCl_3\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸铬	c〔Cr_2(SO_4)$_3$〕=0.1	71.64gCr_2(SO_4)$_3\cdot 18H_2O$，溶于水稀释至1L
硝酸铜	c〔Cu(NO_3)$_2$〕=1	241.60gCu(NO_3)$_2\cdot 3H_2O$，5ml浓硫酸，溶于适量水中，稀释至1L
氯化铜	c($CuCl_2$)=1	170.48g$CuCl_2\cdot 2H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸铜	c($CuSO_4$)=1	249.68g$CuSO_4\cdot 5H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
三氯化铁	c($FeCl_3$)=1	270.30g$FeCl_3\cdot 6H_2O$，溶于适量加了20ml浓盐酸的水中，再用水稀释至1L
硝酸铁	c〔Fe(NO_3)$_3$〕=1	404.00gFe(NO_3)$_3\cdot 9H_2O$，溶于适量加了20ml浓硝酸的水中，再用水稀释至1L
硫酸亚铁	c〔$FeSO_4$〕=1	278.01g$FeSO_4\cdot 7H_2O$，溶于适量加了10ml浓硫酸的水中，再用水稀释至1L，用前新配，短期保存
铁铵矾	c〔$FeNH_4$(SO_4)$_2$〕=0.1	48.218g$FeNH_4$(SO_4)$_2\cdot 12H_2O$，溶于适量水中，加10ml浓硫酸再用水稀释至1L，短期保存
硫酸亚铁铵	c〔Fe(NH_4)$_2$(SO_4)$_2$〕=0.1	39.213gFe(NH_4)$_2$(SO_4)$_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，加10ml浓硫酸再用水稀释至1L、用时新配
硝酸汞	c〔Hg(NO_3)$_2$〕=0.1	32.460gHg(NO_3)$_2$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化汞	c($HgCl_2$)=0.1	27.150g$HgCl_2$，溶于适量水中，稀释至1L。系极毒物
硝酸亚汞	c〔Hg_2(NO_3)$_2$〕=0.1	56.122gHg_2(NO_3)$_2\cdot 2H_2O$，溶于150ml6mol·L^{-1}硝酸中，用水稀释至1L
氯化钾	c(KCl)=1	74.55gKCl，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸钾	c(KNO_3)=1	101.10gKNO_3，溶于适量水中，稀释至1L
铬酸钾	c(K_2CrO_4)=1	194.19gK_2CrO_4，溶于适量水中，稀释至1L
重铬酸钾	c($K_2Cr_2O_7$)=0.1	29.418g$K_2Cr_2O_7$，溶于适量水中，稀释至1L
亚硝酸钾	c(KNO_2)=1	85.10gKNO_2，溶于适量水中，稀释至1L
碘化钾	c(KI)=1	166.00gKI，溶于适量水中，稀释至1L，置于棕色瓶中
亚铁氰化钾	c〔K_4Fe(CN)$_6$〕=0.1	36.835gK_4Fe(CN)$_6$，溶于适量水中，稀释至1L
铁氰化钾	c〔K_3Fe(CN)$_6$〕=0.1	32.925gK_3Fe(CN)$_6$，溶于适量水中，稀释至1L
硫氰酸钾	c(KSCN)=1	97.18gKSCN，溶于适量水中，稀释至1L
溴化钾	c(KBr)=1	119.00gKBr，溶于适量水中，稀释至1L
碳酸钾	c(K_2CO_3)=1	174.24g$K_2CO_3\cdot 2H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯酸钾	c($KClO_3$)=0.1	12.255g$KClO_3$，溶于适量水中，稀释至1L
氰化钾	c(KCN)=1	65.12gKCN，溶于适量水中，稀释至1L。系极毒物
硫酸钾	c(K_2SO_4)=0.1	17.425gK_2SO_4，溶于适量水中，稀释至1L
高锰酸钾	c($KMnO_4$)=0.1	15.803g$KMnO_4$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸镁	c〔Mg(NO_3)$_2$〕=1	256.41gMg(NO_3)$_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化镁	c($MgCl_2$)=1	203.30g$MgCl_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸镁	c($MgSO_4$)=1	246.47g$MgSO_4\cdot 7H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸锰	c〔Mn(NO_3)$_2$〕=1	287.04gMn(NO_3)$_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化锰	c($MnCl_2$)=1	197.91g$MnCl_2\cdot 4H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L

续表

名 称	浓 度 c/mol·L^{-1}	配 制 方 法
硫酸锰	$c(MnSO_4)=1$	223.06g$MnSO_4\cdot 4H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化铵	$c(NH_4Cl)=1$	53.49gNH_4Cl，溶于适量水中，稀释至1L
乙酸铵	$c(NH_4CH_3COO)=1$	77.08gNH_4CH_3COO，溶于适量水中，稀释至1L
草酸铵	$c[(NH_4)_2C_2O_4]=1$	142.11g $(NH_4)_2C_2O_4\cdot H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸铵	$c(NH_4NO_3)=1$	80.04gNH_4NO_3，溶于适量水中，稀释至1L
过硫酸铵	$c[(NH_4)_2S_2O_8]=0.1$	22.820g $(NH_4)_2S_2O_8$，溶于适量水中，稀释至1L，用时新配
硫氰酸铵	$c(NH_4SCN)=1$	76.12gNH_4SCN，溶于适量水中，稀释至1L
磷酸氢二铵	$c[(NH_4)_2HPO_4]=1$	132.06g $(NH_4)_2HPO_4$，溶于适量水中，稀释至1L
硫化铵	$c[(NH_4)_2S]=6$	通硫化氢气体于200ml浓氨水中直至饱和，然后加浓氨水200ml，用水稀释至1L
氯化钠	$c(NaCl)=1$	58.44g氯化钠，溶于适量水中，稀释至1L
乙酸钠	$c(NaCH_3COO)=1$	136.09g$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
碳酸钠	$c(Na_2CO_3)=1$	105.99gNa_2CO_3（或286.14g$Na_2CO_3\cdot 10H_2O$），溶于适量水中，稀释成1L
硫化钠	$c(Na_2S)=1$	240.18g$Na_2S\cdot 9H_2O$，40g$NaOH$，溶于适量水中，稀释成1L
硝酸钠	$c(NaNO_3)=1$	85.00g$NaNO_3$，溶于适量水中，稀释至1L
亚硝酸钠	$c(NaNO_2)=1$	69.00g$NaNO_2$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸钠	$c(Na_2SO_4)=1$	322.17g$Na_2SO_4\cdot 10H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
四硼酸钠	$c(Na_2B_4O_7)=0.1$	38.137g$Na_2B_4O_7\cdot 10H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫代硫酸钠	$c(Na_2S_2O_3)=1$	248.18g$Na_2S_2O_3\cdot 5H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
草酸钠	$c(Na_2C_2O_4)=0.1$	13.400g$Na_2C_2O_4$，溶于适量水中，稀释至1L
磷酸氢二钠	$c(Na_2HPO_4)=0.1$	35.814g$Na_2HPO_4\cdot 12H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
磷酸钠	$c(Na_3PO_4)=0.1$	16.394gNa_3PO_4，溶于适量水中，稀释至1L
氟化钠	$c(NaF)=0.5$	21gNaF，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸镍	$c[Ni(NO_3)_2]=1$	290.80g$Ni(NO_3)_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化镍	$c(NiCl_2)=1$	237.70g$NiCl_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸镍	$c(NiSO_4)=1$	280.86g$NiSO_4\cdot 7H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硝酸铅	$c[Pb(NO_3)_2]=1$	331.21g$Pb(NO_3)_2$，溶于适量水中，加15ml 6mol·L^{-1}硝酸，稀释至1L
乙酸铅	$c[Pb(CH_3COO)_2]=1$	379.33g$Pb(CH_3COO)_2\cdot 3H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
氯化亚锡	$c(SnCl_2)=1$	225.63g$SnCl_2\cdot 2H_2O$溶于170ml浓盐酸中，用水稀释至1L加入纯锡粒数粒，以防氧化，用前新配
四氯化锡	$c(SnCl_4)=0.1$	26.050g$SnCl_4$溶于6mol·L^{-1}盐酸中，并用6mol·L^{-1}盐酸稀释至1L
硝酸锌	$c[Zn(NO_3)_2]=1$	297.48g$Zn(NO_3)_2\cdot 6H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L
硫酸锌	$c(ZnSO_4)=1$	287.55g$ZnSO_4\cdot 7H_2O$，溶于适量水中，稀释至1L

第三节　元素和离子的标准溶液

一、元素和离子的标准溶液的配制

元素和离子的标准溶液须用基准物质或纯度在分析纯以上的试剂配制，作为标准应用于光度分析（或浊度分析），极谱分析和化学光谱分析等方面。浓度低于0.1mg·ml^{-1}的标准溶液，应于使用前配制或稀释。在保存期间有混浊或沉淀生成时，应予重新配制。配制方法见表3-5。

表3-5　元素和离子的标准溶液的配制方法

元素或离子	配 制 方 法
Ag	1. 称取1.0000g金属银置于300ml烧杯中，加入25ml浓硝酸，加热溶解并赶去氮的氧化物、冷却后移入1L容量瓶中，水稀释至刻度，摇匀，1ml≎1mg银 2. 称取1.5784g硝酸银，溶于100ml水，移入1L容量瓶中，稀释至标线、摇匀。1ml≎1mg银

续表

元素或离子	配制方法
Al	1. 称取1.0000g金属铝置于300ml烧杯中，加入20ml水，3g氢氧化钠，待铝溶解后，用盐酸缓缓地中和至出现混浊，加入过量盐酸20ml，加热使其溶解（小心不断搅拌），待冷却后移入1L容量瓶中，水稀释至 标线，摇匀。1ml≎1mg铝 2. 称取1.759g硫酸铝钾〔$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$〕溶于水，移入1000ml容量瓶中，水稀释至标线。1ml≎0.1mg铝
As	称取1.3203g三氧化二砷（预先经（100～110）℃烘2h，干燥器中冷却）溶于20ml10%的氢氧化钠溶液中，稍加热并用玻棒搅拌之，溶解后，移入1L容量瓶中，用水稀释至200ml，加酚酞二滴以盐酸中和至中性并过量两滴，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎0.1mg砷
Au	称取1.0000g纯金属于100ml烧杯中，加入王水20ml，在水浴上加热溶解后，加入氯化钾2g，浓盐酸167ml，使酸度保持在$2mol \cdot L^{-1}$，移入1L容量瓶中，用饱和氯水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg金
B	称取5.7192g硼酸(H_3BO_3)溶于少量水中，微热使其溶解，移入1L容量瓶中，稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg硼
Ba	称取1.7787g氯化钡($BaCl_2 \cdot 2H_2O$)，溶于少量煮沸过的水中，移入1L容量瓶中，用煮沸过的水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg钡
Be	称取1.0000g金属铍置于300ml烧杯中，用1+1盐酸或1+1硫酸分解，在砂浴上慢慢加热，使金属分解后，冷却，将此溶液移入1L容量瓶，稀释至标线，溶液的酸度保持在1%～2%，1ml≎1mg铍
Bi	称取1.0000g金属铋置于300ml烧杯中，加50ml1+1硝酸加热溶解，待完全溶解后，冷却，移入预先加入50ml硝酸的1L容量瓶中，水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg铋
Br	称取1.4890g溴化钾，溶于水移入1L容量瓶中，稀释至刻度。1ml≎1mg溴
BrO_3^-	称取0.1306g溴酸钾，溶于水移入1L容量瓶中，稀释至刻度。1ml≎0.1mgBrO_3^-
CN^-	称取0.2503g氰化钾，溶于煮沸后而冷却的水中，移入1L容量瓶中，稀释至刻度。用聚乙烯容器贮存。1ml≎0.1mgCN^-
CO_3^{2-}	称取于(270～300)℃灼烧至恒重的无水碳酸钠0.1766g，溶于不含二氧化碳的水中，移入1L容量瓶中，用不含二氧化碳的水稀释至刻度。1ml≎0.1mgCO_3^{2-}
Ca	称取（105～110）℃干燥至恒重的碳酸钙（$CaCO_3$）2.4972g，置于300ml烧杯中，加水20ml，滴加1+1盐酸至完全溶解，再加10ml，煮沸除去二氧化碳、冷却后移入1L容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg钙
Cd	1. 称取1.0000g金属镉于300ml烧杯中，加入（20～30）ml1+1盐酸溶解，冷却，移入1L容量瓶中，水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg镉 2. 称取0.2032g氯化镉（$CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$）溶于水，移入1L容量瓶中，稀释至刻度。1ml≎0.1mg镉
Ce	称取3.1000g硝酸铈〔$Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$〕溶解于加了2ml浓硝酸的水中，移入1L容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg铈
Cl	称取在（400～450）℃灼烧至恒重的氯化钠1.6485g，溶于水中，移入1L容量瓶，稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg氯
ClO_3^-	称取0.1469g氯酸钾（$KClO_3$），溶于水中，移入1L容量瓶，稀释至刻度，摇匀。1ml≎0.1mgClO_3^-
Co	称取金属钴1.0000g置于300ml烧杯中，加1+1硝酸50ml，在水浴上加热溶解，冷却后，加入少量水煮沸，冷却、移入1L容量瓶中，水稀释至标线，摇匀。此溶液硝酸酸度应保持2%～3%。1ml≎1mg钴
Cr	称取120℃干燥至恒重的重铬酸钾3.7349g，溶解于少量水中，移入1L容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg铬
Cu	称取1.0000g金属铜置于400ml烧瓶中，加入20ml1+1硝酸溶解，在砂浴上加热蒸至近干，然后加入10ml浓硫酸，小心蒸至冒三氧化硫白烟，冷却后，加水使全部盐类溶解，冷却，移入1L容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg铜
F	称取在（110～120）℃干燥至恒重的氟化钠2.2101g，溶于水中，移入1L容量瓶中，稀释至标线、摇匀。1ml≎1mg氟
Fe	称取1.0000g金属铁，用30ml1+1硝酸溶解（也可用1+1盐酸或1+1硫酸溶解），溶解后加热除去二氧化氮，冷却、移入1L容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg铁
Ga	称取1.0000g金属镓，置于300ml烧杯中，加入（20～30）ml1+1盐酸，滴加几滴硝酸，在水浴上加热使其溶解、冷却后移入1L容量瓶中，水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg镓
Ge	称取1.0000g金属锗，置于300ml烧杯中，加（20～30）ml6%过氧化氢，在水浴上加热溶解，加入少量氢氧化钠可加速其溶解，溶完后加几ml热水，用1+1盐酸中和并过量几ml，煮沸除去过氧化氢，冷却后移入1L容 量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg锗
Hg	1. 称取1.6631g硝酸汞，置于300ml烧杯中，加入25%硝酸20ml，用水稀释至50ml，使之完全溶解，移入1L容量瓶中、稀释至标线，摇匀 。1ml≎1mg汞 2. 称取金属汞1.0000g，置于250ml烧杯中，加入1+1硝酸（20～30）ml，放入通风柜中慢慢加热分解，待溶完后，加水稀释，移入1L容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。硝酸浓度为1%。1ml≎1mg汞
I	称取1.3080g碘化钾，溶于水中，移入1L容量瓶中，稀释至刻度、摇匀。1ml≎1mg碘
In	称取1.0000g金属铟，置于300ml烧杯中，加（20～30）ml 1+1盐酸溶解，在水浴上加热，使之完全溶解，冷却，移入1L容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg铟

续表

元素或离子	配制方法
Ir	称取 22.94mg 氯铱酸铵〔$(NH_4)_2IrCl_6$〕，溶于 $1mol \cdot L^{-1}$ 盐酸中，移入 500ml 容量瓶中，用 $1mol \cdot L^{-1}$ 盐酸稀释至刻度、摇匀。1ml≙20μg 铱
K	称取 1.9067g 在（400～450）℃灼烧至恒重的氯化钾，用水溶解，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 钾
La	称取 1.1728g 氧化镧（La_2O_3），溶于 50ml 1+1 盐酸，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀，1ml≙1mg 镧
Mg	1. 称取 1.0000g 金属镁，加入 20ml 水，慢慢加入 20ml 盐酸、待完全溶解后加热煮沸、冷却、移入 1L 容量瓶中，用水稀释到标线，摇匀。1ml≙1mg 镁 2. 称取于 800℃灼烧至恒重的氧化镁 1.6580g，按照上述方法配制。1ml≙1mg 镁
Mn	1. 称取于（400～500）℃灼烧至恒重的硫酸锰 2.749g，溶于水中，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 锰 2. 称取金属锰 1.0000g（称量前用稀硫酸洗去表面氧化物，再用水洗除酸后并烘干），用 20ml 1+4 硫酸溶解，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至标线、摇匀。1ml≙1mg 锰
Mo	1. 称取 1.5003g 三氧化钼，溶于少量稀氢氧化钠溶液中，用水稀释至 50ml，用硫酸酸化后过量几 ml，移入 1L 容量瓶中，稀释至标线，摇匀。1ml≙1mg 钼 2. 称取 1.8403g 钼酸铵〔$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$〕置于 300ml 烧杯中，以少量水溶解、移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 钼
N	称取于（100～105）℃干燥至恒重的氯化铵 3.8190g，溶于少量水中，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度、摇匀。1ml≙1mg 氮
NH_4^+	称取于（100～105）℃干燥至恒重的氯化铵 0.2965g、溶于少量水中，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mgNH_4^+
NO_2^-	称取 0.1500g 亚硝酸钠，溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度、摇匀。1ml≙0.1mgNO_2^-
NO_3^-	称取于（120～130）℃干燥至恒重的硝酸钾 1.630g，溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mgNO_3^-
Na	称取于（500～600）℃灼烧至恒重的氯化钠 2.5421g，溶于少量水，移入 1L 容量瓶中、稀释至标线。1ml≙1mg 钠
Nb	称取 25mg 五氧化二铌于石英坩埚中，加入焦硫酸钾 3g，在 700℃熔融至透明，冷却，加数滴硫酸继续熔融，如此反复处理几次，直至熔融物清亮为止。取出，冷却，用近沸的 6%酒石酸溶液浸取，加热使其完全溶解，冷却后移入 250ml 容量瓶中，用 6%酒石酸溶液稀释至标线，摇匀。1ml≙0.1mgNb_2O_5
Ni	1. 称取 1.0000g 金属镍置于 300ml 烧杯中，加入 15ml 1+1 硝酸，水浴上加热溶解，溶完后加热煮沸，冷却，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≙1mg 镍 2. 称取 0.6730g 硫酸镍铵〔$NiSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$〕，溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至标线，摇匀。1ml≙0.1mg 镍
Os	称取 23.08mg 氯锇酸铵〔$(NH_4)_2OsCl_6$〕，加盐酸 10ml、水 50ml，温热溶解，冷却后，移入 100ml 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≙100mg 锇
P	称取 4.2635g 磷酸氢二铵，溶于少量水中，移入 1L 容量瓶中，水稀释至标线，摇匀。1ml≙1mg 磷
PO_4^{3-}	称取 0.1433g 磷酸二氢钾，溶于少量水中，移入 1L 容量瓶中，水稀释至标线，摇匀。1ml≙0.1mgPO_4^{3-}
Pb	1. 称取 1.0000g 金属铅，置于 300ml 烧杯中，加入 30ml 1+2 硝酸溶解，待溶解完全后，加热除去二氧化氮，冷却、移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 铅 2. 称取 0.1599g 硝酸铅溶于少量水及 1ml 硝酸中，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mg 铅
Pd	称取 0.1000g 金属钯，用王水溶解，加入氯化钠 0.2g，于水浴上蒸干两次，加入盐酸 10ml 和水 20ml，溶解后移入 100ml 容量瓶中，水稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 钯，工作溶液用 $8mol \cdot L^{-1}$ 盐酸稀释
Pt	制备方法同钯
Re	称取 1.0000g 金属铼，置于 300ml 烧杯中，加入 20ml1+1 盐酸并滴加 30%过氧化氢使铼分解完全，加少许水并加热煮沸除去过氧化氢，冷却后移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 铼
Rh	称取 38.56mg 氯铑酸铵〔$(NH_4)_3RhCl \cdot 1\frac{1}{2}H_2O$〕，溶于 $1mol \cdot L^{-1}$ 盐酸中，移入 500ml 容量瓶中，用 $1mol \cdot L^{-1}$ 盐酸稀释至刻度，摇匀。1ml≙20μg 铑
Ru	称取 32.98mg 氯亚钌酸铵〔$(NH_4)_2Ru(H_2O)Cl_5$〕，加 10ml 盐酸，50ml 水，温热溶解，冷却后移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mg 钌
S	称取在 105℃干燥（1～2）h 的无水硫酸钠 4.4299g（或硫酸钾 5.4349g）置于 300ml 烧杯中，用 5%盐酸溶解，移入 1L 容量瓶中，用 5%盐酸稀释至刻度，摇匀。1ml≙1mg 硫
SCN^-	称取 0.1311g 硫氰酸铵，溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mg SCN^-
SO_4^{2-}	称取在 105℃干燥（1～2）h 的无水硫酸钠 0.1479g，溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mgSO_4^{2-}
$S_2O_3^{2-}$	称取 0.2213g 硫代硫酸钠（$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$），溶于水，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≙0.1mg$S_2O_3^{2-}$

续表

元素或离子	配　制　方　法
Sb	称取 1.0000g 金属锑、置于 300ml 烧杯中，加入（20～30）ml　1+1 硫酸，加热溶解，完全溶解后，用 1+4 硫酸稀释，移入 1L 容量瓶中，用 1+4 硫酸稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 锑
Sc	称取 0.1530g 三氧化二钪，溶于 10ml 2mol・L^{-1}盐酸中，移入 100ml 容量瓶中，稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 钪
Se	1. 称取 1.0000g 硒，置于 300ml 烧杯中，加入 10ml 水和 10ml 浓盐酸，在水浴上加热溶解，滴加几滴硝酸，分解完全后，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg 硒 2. 称取 0.1405g 二氧化硒，溶于水、移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎0.1mg 硒
Si	称取 2.1393g 二氧化硅、置于铂坩埚中，加 10g 无水碳酸钠，混匀，于 1000℃加热至完全熔融、冷却后用热水浸出，加热至溶液澄清、冷却，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。用聚乙烯容器贮存。1ml≎1mg 硅
SiO_3^{2-}	称取 0.7898g 二氧化硅，同 Si 方法处理，配制。1ml≎1mgSiO_3^{2-}
Sn	称取 1.0000g 金属锡，用 50ml　1+1 盐酸溶解，冷却后移入 1L 容量瓶中，加入 80ml 浓盐酸，用水稀释至刻度，摇匀，盐酸浓度为 10%，1ml≎1mg 锡
Sr	称取二氯化锶（$SrCl_2\cdot 6H_2O$）3.04g，溶于 0.3mol・L^{-1}盐酸中，移入 1L 容量瓶中，用 0.3mol・L^{-1}盐酸稀释至刻度，摇匀。1ml≎0.1mg 锶
Ta	配制方法与铌相同
Te	称取 1.0000g 碲，置于 300ml 烧杯中，加入（20～30）ml 浓盐酸及浓硝酸数滴，在水浴上加热溶解，然后移入 1L 容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg 碲
Th	称取二氧化钍 0.5000g 于 250ml 烧杯中，加入盐酸 10ml 和少量氟化钠，加热溶解后，加入高氯酸 2ml，蒸发至干，加盐酸 2ml，在水浴上蒸干，加入 2%盐酸 20ml、微热、冷却后用 2%盐酸转入 500ml 容量瓶中，并稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg 二氧化钍
Ti	1. 称取 0.1668g 二氧化钛，加 2g 焦硫酸钾，熔融，冷却，以 0.5mol・L^{-1}硫酸溶解，移入 1L 容量瓶中，并用 0.5mol・L^{-1}硫酸稀释至刻度，摇匀。1ml≎0.1mg 钛 2. 称取 1.0000g 金属钛，放入 250ml 铂皿中，加入少许水后，慢慢滴加氢氟酸使样品溶解，再滴加硝酸，使低价钛完全氧化，加入 10ml 浓硫酸，摇匀。在电炉上蒸发至冒硫酸白烟。取下冷却至室温后，用 5%硫酸移入 1L 容量瓶，并稀释至标线，摇匀，硫酸浓度约为 10%。1ml≎1mg 钛
Tl	1. 称取 0.1175g 氯化亚铊（TlCl），溶于 5ml 硫酸中，移入 1L 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。1ml≎0.1mg 铊 2. 称取 1.0000g 金属铊，置于 300ml 烧杯中，加入 20ml1+1 硝酸，使之分解后，用水稀释并移入 1L 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 铊
U	称取 2.1090g 硝酸铀酰〔$UO_2(NO_3)_2\cdot 6H_2O$〕，溶于少量水中，加入 10ml 浓硝酸，移入 1L 容量瓶中，水稀释至刻度，摇匀。1ml≎1mg 铀
V	称取 2.2963g 钒酸铵（NH_4VO_3），溶于加有几粒氢氧化钠的 100ml 水中，溶解后，用 1+1 硫酸中和至酸性，移入 1L 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 钒
W	称取 1.2611g 三氧化钨（在 110℃烘干 1 小时，冷却），用 20%氢氧化钠溶液（30～40）ml 稍加温溶解、冷却后移入 1L 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 钨
Zn	称取 1.0000g 金属锌，置于 300ml 烧杯中，加（30～40）ml　1+1 盐酸，使其溶解，待溶完后加热煮沸几分钟，冷却、移入 1L 容量瓶中，用水稀释到标线，摇匀。1ml≎1mg 锌
Zr	称取 3.5328g 氯化锆酰（$ZrOCl_2\cdot 8H_2O$），置于 300ml 烧杯中，加入（40～50）ml　10%盐酸溶解，移入 1L 容量瓶，用 10%盐酸稀释至标线，摇匀。1ml≎1mg 锆

二、测定化学试剂杂质用标准溶液

本节所列 83 种杂质标准溶液为国家标准（GB602—88）用于检定化学试剂中杂质含量规定的标准溶液[2]，也可用于其他化学品中杂质含量的测定。表中标准溶液按化学式英文字母顺序排列，有机化合物按碳氢原子数顺序排在无机化合物后面。

表 3-6　测定化学试剂杂质用标准溶液的配制方法

序号	名称和化学式	配　制　方　法
1	银 Ag	银（1ml 溶液含有 0.1mgAg） 称取 0.158g 硝酸银，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
2	铝 Al	铝（1ml 溶液含有 0.1mgAl） 称取 1.759g 硫酸铝钾〔$AlK(SO_4)_2\cdot 12H_2O$〕，溶于水，加 10ml 硫酸溶液（25%），移入 1 000ml容量瓶中，稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配制方法
3	砷 As	砷（1ml 溶液含有 0.1mgAs） 称取 0.132g 于硫酸干燥器中干燥至恒重的三氧化二砷，温热溶于 1.2ml 氢氧化钠溶液（100g・L^{-1}）中，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
4	金 Au	金（1ml 溶液含有 1mgAu） 称取 0.1000g 金属金，加 10ml 盐酸、5ml 硝酸溶解，在水浴上蒸发至近干，溶于水，移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度
5	硼 B	硼（1ml 溶液含有 0.1mgB） 称取 0.572g 硼酸，加 10ml 水，温热溶解，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
6	钡 Ba	钡（1ml 溶液含有 0.1mgBa） 称取 0.178g 氯化钡（$BaCl_2 \cdot 2H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
7	铍 Be	铍（1ml 溶液含有 1mgBe） 称取 1.966g 硫酸铍（$BeSO_4 \cdot 4H_2O$），溶于水，加 1ml 硫酸，移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度
8	铋 Bi	铋（1ml 溶液含有 0.1mgBi） 1. 称取 0.232g 硝酸铋〔$Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$〕，用 10ml 硝酸溶液（25%）溶解，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。 2. 称取 0.100g 金属铋，溶于 6ml 硝酸中，煮沸除去三氧化二氮气体，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
9	溴化物 Br	溴化物（1ml 溶液含有 0.1mgBr） 称取 0.149g 溴化钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
10	溴酸盐 BrO_3	溴酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgBrO_3） 称取 0.131g 溴酸钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
11	碳 C	碳（1ml 溶液含有 1mgC） 称取 8.826g 于（270～300）℃灼烧至恒重的无水碳酸钠，溶于无二氧化碳的水中，移入 1 000ml容量瓶中，用无二氧化碳的水稀释至刻度
12	羰基化合物 CO	羰基化合物（1ml 溶液含有 1mgCO） 称取 10.43g 丙酮（相当 5.000gCO）置于含有 50ml 无羰基甲醇的 100 ml 容量瓶中，用无羰基甲醇稀释至刻度，充分混匀。量取 20.00ml 此溶液于 1 000ml 容量瓶中，用无羰基甲醇稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
13	二氧化碳 CO_2	二氧化碳（1ml 溶液含有 0.1mgCO_2） 称取 0.240g 于（270～300）℃灼烧至恒重之无水碳酸钠，溶于无二氧化碳的水，移入 1 000ml 容量瓶中，用无二氧化碳的水稀释至刻度
14	碳酸盐 CO_3	碳酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgCO_3） 称取 0.177g 于（270～300）℃灼烧至恒重的无水碳酸钠，溶于无二氧化碳的水中，移入 1 000ml 容量瓶中，用无二氧化碳的水稀释至刻度
15	二硫化碳 CS_2	二硫化碳（1ml 溶液含有 1mgCS_2） 称取 0.500g 二硫化碳，溶于四氯化碳，移入 500ml 容量瓶中，用四氯化碳稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
16	钙 Ca	钙（1ml 溶液含有 0.1mgCa） 1. 称取 0.250g 于（105～110）℃干燥至恒重的碳酸钙，溶于 10ml 盐酸溶液（10%）中，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取 0.367g 氯化钙（$CaCl_2 \cdot 2H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
17	镉 Cd	镉（1ml 溶液含有 0.1mgCd） 称取 0.203g 氯化镉$\left(CdCl_2 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O\right)$，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配制方法
18	氯 Cl	氯（1ml 溶液含有 0.1mgCl） 称取约 4g 氯胺 T（$C_7H_7ClNNaO_2S \cdot 3H_2O$），置于 1 000ml 容量瓶中，溶于水，稀释至刻度（溶液 I） 准确量取 Vml 溶液 I，置于 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 氯胺 T 水溶液体积按式（5）计算： $$V=\frac{0.100}{X} \quad (3-1)$$ 式中 V——氯胺 T 水溶液之体积，ml； X——1ml 溶液 I 含有氯之质量，$g \cdot ml^{-1}$； 0.100——配制 1 000ml 氯杂质标准溶液所需氯之质量，g。 注：（溶液 I）含量测定 量取 5.00ml 溶液 I，注入碘量瓶中，加 100ml 水、2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液（10%），在暗处放置 10min，用硫代硫酸钠标准溶液〔c（$Na_2S_2O_3$）$=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时，加入 3ml 淀粉指示液（$5g \cdot L^{-1}$），继续滴定至溶液蓝色消失 氯含量按下式计算： $$X=\frac{V \cdot c \times 0.03545}{5} \quad (3-2)$$ 式中 X——氯之含量，$g \cdot ml^{-1}$； V——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$； 0.035 45——与 1.00ml 硫代硫酸钠标准溶液〔c（$Na_2S_2O_3$）$=1.000mol \cdot L^{-1}$〕相当的以克（g）表示的氯的质量。
19	氯化物 Cl^-	氯化物（1ml 溶液含有 0.1mgCl） 称取 0.165g 于（500～600）℃灼烧至恒重的氯化钠，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
20	氯酸盐 ClO_3	氯酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgClO_3） 称取 0.147g 氯酸钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
21	钴 Co	钴（1ml 溶液含有 1mgCo） 称取 2.630g 无水硫酸钴（用 $CoSO_4 \cdot 7H_2O$ 在（500～550）℃灼烧至恒重），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
22	铬 Cr	铬（1ml 溶液含有 0.1mgCr） 1. 称取 0.373g 预先于 105℃干燥 1h 的铬酸钾，溶于含有 1 滴氢氧化钠溶液（$100g \cdot L^{-1}$）的少量水中，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取 0.283g 重铬酸钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
23	铬酸盐 CrO_4^{2-}	铬酸盐（1ml 溶液含有 0.1mg CrO_4^{2-}） 称取 0.167g 预先于（105～110）℃干燥 1h 的铬酸钾，溶于含有 1 滴氢氧化钠溶液（$100g \cdot L^{-1}$）的少量水中，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
24	铜 Cu	铜（1ml 溶液含有 0.1mgCu） 称取 0.393g 硫酸铜（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
25	氟化物 F	氟化物（1ml 溶液含有 0.1mgF） 称取 0.221g 氟化钠，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
26	亚铁 〔Fe Ⅱ〕	亚铁〔1ml 溶液含有 0.1mgFe（Ⅱ）〕 称取 0.702g 硫酸亚铁铵〔$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$〕，溶于含有 0.5ml 硫酸的水中，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备

续表

序号	名称和化学式	配制方法
27	铁 Fe	铁（1ml溶液含有0.1mgFe） 称取0.864g硫酸铁铵〔$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$〕，溶于水，加10ml硫酸溶液（25%），移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
28	六氰合铁（Ⅱ）酸盐 〔$Fe(CN)_6$〕	六氰合铁（Ⅱ）酸盐〔1ml溶液含有0.1mg$Fe(CN)_6$〕 称取0.199g六氰合铁（Ⅱ）酸钾｛$K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$｝，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
29	镓 Ga	镓（1ml溶液含有1mgGa） 称取0.134g三氧化二镓，溶于5ml硫酸，移入100ml容量瓶中，小心稀释至刻度
30	锗 Ge	锗（1ml溶液含有0.1mgGe） 称取0.100g锗，加热溶于（3～5）ml30%过氧化氢中，逐滴加入氨水至白色沉淀溶解，用硫酸溶液（20%）中和并过量0.5ml，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
31	汞 Hg	汞（1ml溶液含有0.1mgHg） 1. 称取0.135g氯化汞，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.162g硝酸汞，用10ml硝酸溶液（1+9）溶解，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
32	过氧化氢 H_2O_2	过氧化氢（1ml溶液含有1mgH_2O_2） 称取mg　30%过氧化氢，置于1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 30%过氧化氢质量按下式计算： $$m=\frac{1.000}{X} \qquad (3—3)$$ 式中　m——30%过氧化氢之质量，g； X——30%过氧化氢之百分含量； 1.000——配制1 000ml过氧化氢杂质标准溶液所需过氧化氢之质量，g。 注：30%过氧化氢含量测定 量取1.8ml（2g）30%过氧化氢，注入具塞锥形瓶中，称准至0.0002g。移入250ml容量瓶中，稀释至刻度。量取25.00ml，加10ml硫酸溶液（20%），用高锰酸钾标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol \cdot L^{-1}\right]$滴定至溶液呈粉红色，保持30s 30%过氧化氢含量按下式计算： $$X=\frac{V \cdot c \times 0.017\ 01}{m} \times 100 \qquad (3—4)$$ 式中　X——30%过氧化氢之百分含量，%； V——高锰酸钾标准溶液之用量，ml； c——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$； m——30%过氧化氢之质量，g； 0.017 01——与1.00ml高锰酸钾标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=1.000mol \cdot L^{-1}\right]$相当的以克（g）表示的过氧化氢的质量。
33	碘化物 I	碘化物（1ml溶液含有0.1mgI） 称取0.131g碘化钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
34	碘酸盐 IO_3	碘酸盐（1ml溶液含有0.1mgIO_3） 称取0.122g碘酸钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。贮存于棕色瓶中
35	铟 In	铟（1ml溶液含有1mgIn） 称取0.100g金属铟，加15ml盐酸溶液（20%），加热溶解，冷却，移入100ml容量瓶中，稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配制方法
36	钾 K	钾（1ml溶液含有0.1mgK） 1. 称取0.191g于（500～600）℃灼烧至恒重的氯化钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.259g硝酸钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
37	镁 Mg	镁（1ml溶液含有0.1mgMg） 1. 称取0.166g于800℃灼烧至恒重的氧化镁，溶于2.5ml盐酸及少量水中，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取1.014g硫酸镁（$MgSO_4 \cdot 7H_2O$），溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
38	锰 Mn	锰（1ml溶液含有0.1mgMn） 1. 称取0.275g于（400～500）℃灼烧至恒重的无水硫酸锰，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.308g硫酸锰（$MnSO_4 \cdot H_2O$），溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
39	钼 Mo	钼（1ml溶液含有0.1mgMo） 称取0.184g钼酸铵〔$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$〕，溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度
40	氮 N	氮（1ml溶液含有0.1mgN） 1. 称取0.382g于（100～105）℃干燥至恒重的氯化铵，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.607g硝酸钠，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
41	铵 NH_4	铵（1ml溶液含有0.1mgNH_4） 称取0.297g于（105～110）℃干燥至恒重的氯化铵，溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度
42	亚硝酸盐 NO_2	亚硝酸盐（1ml溶液含有0.1mgNO_2） 称取0.150g亚硝酸钠，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，释释至刻度。此标准溶液使用前制备
43	硝酸盐 NO_3	硝酸盐（1ml溶液含有0.1mgNO_3） 1. 称取0.163g于（120～130）℃干燥至恒重的硝酸钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.137g硝酸钠，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
44	钠 Na	钠（1ml溶液含有0.1mgNa） 称取0.254g于（500～600）℃灼烧至恒重的氯化钠，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
45	铌 Nb	铌（1ml溶液含有0.1mgNb） 称取0.143g经乳钵研细的五氧化二铌和4g粉末状的焦硫酸钾，二者分层放入石英坩埚中，于600℃灼烧熔融，取出冷却，用20ml酒石酸溶液（150g·L^{-1}）加热溶解。移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
46	镍 Ni	镍（1ml溶液含有0.1mgNi） 1. 称取0.673g硫酸镍铵〔$NiSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$〕，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取0.448g硫酸镍（$NiSO_4 \cdot 6H_2O$），溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
47	磷 P	磷（1ml溶液含有0.1mgP） 称取0.439g磷酸二氢钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
48	磷酸盐 PO_4	磷酸盐（1ml溶液含有0.1mgPO_4） 称取0.143g磷酸二氢钾，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
49	铅 Pb	铅（1ml溶液含有0.1mgPb） 称取0.160g硝酸铅，用10ml硝酸溶液（1+9）溶解，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度

续表

序号	名称和化学式	配 制 方 法
50	钯 Pd	钯（1ml 溶液含有 1mgPd） 称取 1.666g 预先在（105～110）℃干燥 1h 的氯化钯，加 30ml 盐酸溶液（20%）溶解，移入 1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
51	铂 Pt	铂（1ml 溶液含有 1mgPt） 称取 0.249g 氯铂酸钾，溶于水，移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度
52	硫 S	硫（1ml 溶液含有 0.1mgS） 称取 0.544g 硫酸钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
53	硫化物 S	硫化物（1ml 溶液含有 0.1mgS） 称取 0.749g 硫化钠（$Na_2S \cdot 9H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
54	硫氰酸盐 CNS	硫氰酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgCNS） 称取 0.131g 硫氰酸铵，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
55	硫酸盐 SO_4	硫酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgSO_4） 1. 称取 0.148g 于（105～110）℃干燥至恒重的无水硫酸钠，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取 0.181g 硫酸钾，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
56	硫代硫酸盐 S_2O_3	硫代硫酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgS_2O_3） 称取 0.221g 硫代硫酸钠（$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$），溶于煮沸过的水，移入 1 000ml 容量瓶中，用煮沸过的水稀释至刻度
57	锑 Sb	锑（1ml 溶液含有 0.1mgSb） 称取 0.274g 酒石酸锑钾$\left(C_4H_4KO_7Sb \cdot \frac{1}{2}H_2O\right)$，溶于盐酸溶液（10%）中，移入 1 000ml 容量瓶中，用盐酸溶液（10%）稀释至刻度
58	硒 Se	硒（1ml 溶液含有 0.1mgSe） 称取 0.141g 二氧化硒，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
59	硅 Si	硅（1ml 溶液含有 0.1mgSi） 称取 0.214g 二氧化硅，置于铂坩埚中，加 1g 无水碳酸钠，混匀。于 1 000℃加热至完全熔融，冷却，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
60	二氧化硅 SiO_2	二氧化硅（1ml 溶液含有 1mgSiO_2） 称取 1.000g 二氧化硅，置于铂坩埚中，加 3.3g 无水碳酸钠，混匀。于 1 000℃加热至完全熔融，冷却，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
61	硅酸盐 SiO_3	硅酸盐（1ml 溶液含有 1mgSiO_3） 称取 0.790g 二氧化硅，置于铂坩埚中，加 2.6g 无水碳酸钠，混匀。于 1 000℃加热至完全熔融，冷却，溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中
62	六氟合硅酸盐 SiF_6	六氟合硅酸盐（1ml 溶液含有 0.1mgSiF_6） 称取 m 六氟合硅酸（30%～32%），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。贮存于聚乙烯瓶中 六氟合硅酸质量按下式计算： $$m=\frac{1.0141\times 0.100}{X} \qquad (3-5)$$ 式中 m——六氟合硅酸之质量，g； X——六氟合硅酸之含量，%； 0.100——配制 1 000ml 六氟合硅酸盐杂质标准溶液所需六氟合硅酸之质量，g； 1.014 1——六氟合硅酸盐换算为六氟合硅酸之系数。

续表

序号	名称和化学式	配制方法
62	六氟合硅酸盐 SiF_6	注：六氟合硅酸含量测定 称取 3g 六氟合硅酸，称准至 0.0002g。置于聚乙烯杯中，加 100ml 水、10ml 饱和氯化钾溶液及 3 滴酚酞指示液（$10g\cdot L^{-1}$），冷却至 0℃，用氢氧化钠标准溶液〔c（NaOH）$=1mol\cdot L^{-1}$〕滴定至粉红色，保持 15s(V_1)。然后加热至 80℃，继续用氢氧化钠标准溶液〔c（NaOH）$=1mol\cdot L^{-1}$〕滴定至溶液呈稳定的粉红色（V_2）。 六氟合硅酸含量按下式计算： $$X=\frac{V_2\cdot c\times 0.036\,023}{m}\times 100 \quad (3-6)$$ 式中　X——六氟合硅酸之含量，%； V_2——滴定至第二终点氢氧化钠标准溶液之用量，ml； c——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； m——六氟合硅酸之质量，g； 0.036 023——与 1.00ml 氢氧化钠标准溶液〔c（NaOH）$=1.000mol\cdot L^{-1}$〕相当的以克（g）表示的六氟合硅酸的质量。
63	锡 Sn	锡（1ml 溶液含有 0.1mgSn） 称取 0.100g 金属锡，溶于盐酸溶液（20%）中，移入 100ml 容量瓶中，用盐酸溶液（20%）稀释至刻度 量取 10.00ml 上述溶液，注入 100ml 容量瓶中，加 15ml 盐酸溶液（20%），稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
64	锶 Sr	锶（1ml 溶液含有 0.1mgSr） 称取 0.304g 氯化锶（$SrCl_2\cdot 6H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
65	碲 Te	碲（1ml 溶液含有 1mgTe） 称取 1.000g 金属碲，加（20～30）ml 盐酸及数滴硝酸，温热溶解，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
66	钛 Ti	钛（1ml 溶液含有 0.1mgTi） 称取 0.167g 二氧化钛，加（2～4）g 焦硫酸钾，于 600℃灼烧熔融，冷却，用硫酸溶液（5%）溶解，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
67	铊 Tl	铊（1ml 溶液含有 0.1mgTl） 称取 0.118g 氯化亚铊，溶于 5ml 硫酸，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
68	钒 V	钒（1ml 溶液含有 1mgV） 称取 0.230g 偏钒酸铵，溶于水（必要时可温热），移入 100ml 容量瓶中，稀释至刻度
69	钨 W	钨（1ml 溶液含有 1mgW） 称取 1.262g 预先在（105～110）℃干燥 1h 的三氧化钨，加（30～40）ml 氢氧化钠溶液（$200g\cdot L^{-1}$），加热溶解，冷却，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度 注：可用钨酸铵在（400～500）℃灼烧 20min 分解后生成的三氧化钨制备
70	锌 Zn	锌（1ml 溶液含有 0.1mgZn） 1. 称取 0.125g 氧化锌，溶于 100ml 水及 1ml 硫酸中，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度 2. 称取 0.440g 硫酸锌（$ZnSO_4\cdot 7H_2O$），溶于水，移入 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度
71	锆 Zr	锆（1ml 溶液含有 0.1mgZr） 称取 0.353g 氧氯化锆（$ZrOCl_2\cdot 8H_2O$），加（30～40）ml 盐酸溶液（10%）溶解，移入 1 000ml 容量瓶中，用盐酸溶液（10%）稀释至刻度
72	甲醛 HCHO	甲醛（1ml 溶液含有 1mgHCHO） 称取 mg 甲醛溶液，置于 1 000ml 容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 甲醛溶液质量按下式计算： $$m=\frac{1.000}{X} \quad (3-7)$$

续表

序号	名称和化学式	配制方法
72	甲醛 HCHO	式中 m——甲醛溶液之质量，g； X——甲醛溶液之含量，%； 1.000——配制1000ml甲醛杂质标准溶液所需甲醛溶液之质量，g。 注：甲醛溶液含量测定 量取3ml甲醛溶液，称准至0.0002g。加入50ml亚硫酸钠溶液〔$c(Na_2SO_3)=1mol\cdot L^{-1}$〕[①]中，用硫酸标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定至溶液由蓝色变为无色。 注：①亚硫酸钠溶液〔$c(Na_2SO_3)=1mol\cdot L^{-1}$〕制备：称取126g亚硫酸钠，溶于水，稀释至1000ml，加百里香酚酞指示液（$1g\cdot L^{-1}$），用硫酸溶液（5%）中和至无色 甲醛溶液含量按下式计算： $$X=\frac{V\cdot c\times 0.030\,03}{m}\times 100 \quad (3-8)$$ 式中 X——甲醛溶液之含量，%； V——硫酸标准溶液之用量，ml； c——硫酸标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； m——甲醛溶液之质量，g； 0.030 03——与1.00ml硫酸标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=1.000mol\cdot L^{-1}\right]$相当的以克(g)表示的甲醛的质量。
73	甲醇 CH_3OH	甲醇（1ml溶液含有1mgCH_3OH） 称取1.000g甲醇，溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
74	草酸盐 C_2O_4	草酸盐（1ml溶液含有0.1mgC_2O_4） 称取0.143g草酸（$C_2H_2O_4\cdot 2H_2O$），溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
75	乙酸盐 CH_3COO	乙酸盐（1ml溶液含有10mgCH_3COO） 称取23.050g乙酸钠（$CH_3COONa\cdot 3H_2O$），溶于水，移入1 000ml容量瓶中，稀释至刻度
76	乙醛 CH_3CHO	乙醛（1ml溶液含有1mgCH_3CHO） 称取mg40%乙醛溶液，置于1000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 40%乙醛质量按下式计算： $$m=\frac{1.000}{X} \quad (3-9)$$ 式中 m——40%乙醛的质量，g； X——40%乙醛的含量，%； 1.000——配制1000ml乙醛杂质标准溶液所需乙醛之质量，g。 注：40%乙醛含量测定 将50.00ml氯化羟胺溶液〔$c(NH_2OH\cdot HCl)=2mol\cdot L^{-1}$〕注入具塞锥形瓶中，称量，加入1.5ml40%乙醛，放置30min，再称量，两次称量均称准至0.0002g，加10滴溴酚蓝指示液（$10.4g\cdot L^{-1}$），用氢氧化钠标准溶液〔$c(NaOH)=1mol\cdot L^{-1}$〕滴定，同时做空白试验 空白试验是量取50.00ml氯化羟胺溶液〔$c(NH_2OH\cdot HCl)=2mol\cdot L^{-1}$〕，加30ml水，与样品同时同样操作 40%乙醛含量按下式计算： $$X=\frac{c\cdot(V_1-V_2)\times 0.044\,05}{m}\times 100 \quad (3-10)$$ 式中 X——40%乙醛的含量，%； V_1——氢氧化钠标准溶液的用量，ml；

续表

序号	名称和化学式	配制方法
76	乙醛 CH_3CHO	V_2——空白试验氢氧化钠标准溶液的用量，ml； c——氢氧化钠标准溶液的物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$； m——40％乙醛的质量，g； 0.044 05——与1.00ml氢氧化钠标准溶液〔c（NaOH）＝1.000$mol \cdot L^{-1}$〕相当的以克（g）表示的乙醛的质量。
77	缩二脲 $C_2H_5N_2O_2$	缩二脲（1ml溶液含有0.1mg$NH_2CONHCONH_2$） 称取0.100g缩二脲，溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
78	丙酮 C_3H_6O	丙酮（1ml溶液含有1mgCH_3COCH_3） 称取1.000g丙酮，溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度。此标准溶液使用前制备
79	乙酸酐 $(CH_3CO)_2O$	乙酸酐〔1ml溶液含有1mg（$CH_3CO)_2O$〕 称取0.100g乙酸酐，置于100ml容量瓶中，用无乙酸酐的冰乙酸溶解，用无乙酸酐的冰乙酸稀释至刻度。此标准溶液使用前制备 注：无乙酸酐的冰乙酸的制备，将冰乙酸回流半小时蒸馏制得
80	糠醛 C_5H_4O	糠醛（1ml溶液含有1mg$C_5H_4O_2$） 称取1.000g糠醛，置于1000ml容量瓶中，稀释至刻度
81	酚 C_6H_5OH	酚（1ml溶液含有1mgC_6H_5OH） 称取1.000g苯酚，溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度
82	葡萄糖 $C_6H_{12}O_6$	葡萄糖（1ml溶液含有1mg$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$） 称取1.000g葡萄糖（$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$），溶于水，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度
83	水杨酸 $C_7H_6O_2$	水杨酸（1ml溶液含有0.1mgHOC_6H_4COOH） 称取0.100g水杨酸，加少量水和1ml冰乙酸溶解，移入1000ml容量瓶中，稀释至刻度

第四节　滴定分析用标准物质和标准溶液

一、滴定分析用标准物质

表3-7　滴定分析用标准物质

序号	名称和化学式	式量	预处理
1	氯化钠① NaCl	58.443	在白金坩埚内于500℃～650℃保持（40～45）min，硫酸干燥器中冷却
2	草酸钠① $Na_2C_2O_4$	134.000	于150℃～200℃保持（1～1.5）h，硫酸干燥器中冷却
3	碳酸钠① Na_2CO_3	105.989	在白金坩埚内于500℃～650℃保持（40～45）min，硫酸干燥器中冷却
4	三氧化二砷① As_2O_3	197.841	于105℃保持3h～4h、硫酸干燥器中冷却
5	邻苯二甲酸氢钾① $KHC_8H_4O_4$	204.229	于110℃～120℃干燥至恒重，硫酸干燥器中冷却
6	碘酸钾① KIO_3	214.004	于120℃～140℃保持1.5h—2h，硫酸干燥器中冷却
7	重铬酸钾① $K_2Cr_2O_7$	249.192	研细，于100℃～110℃保持3h～4h，于硫酸干燥器中冷却
8	氧化锌① ZnO	81.37	在白金坩埚内于700℃～800℃保持（40～45）min，硫酸干燥器中冷却
9	对氨基苯磺酸① $H_2NC_6H_4SO_3H$	97.088	在抽真空的硫酸干燥器中放置
10	溴酸钾 $KBrO_3$	167.004	于120℃～140℃保持1.5h～2h，硫酸干燥器中冷却

续表

序号	名称和化学式	式量	预　处　理
11	碳酸钙 $CaCO_3$	100.090	于110℃～120℃保持1.5h～2h，硫酸干燥器中冷却
12	氧化镁 MgO	40.304	在白金坩埚内于200℃～800℃保持（40～45）min，硫酸干燥器中冷却
13	氟化钠 NaF	41.998	在白金坩埚内于500℃～650℃保持（40～45）min，硫酸干燥器中冷却
14	氨基磺酸 $HOSO_2NH_2$	97.088	在抽真空的硫酸干燥器中放置48h
15	锌 Zn	65.38	用盐酸（1+3），水，丙酮依次洗涤，于硫酸干燥器中放置24h以上
16	铜 Cu	63.546	用乙酸（2+98）、水、乙醇（95%），甲醇依次洗涤，于硫酸干燥器中放置24h以上

① 基准试剂，参考中华人民共和国国家标准 GB1253—77～1261—77，化学试剂：基准试剂，第一分册．北京：中国标准出版社，1977．

二、滴定分析用标准溶液[3]

本节所列滴定分析标准溶液如表3-8所示。国家标准（GB 601—88）《化学试剂滴定分析（容量分析）标准溶液的制备》对表3-8中标准溶液的配制和标定方法分别如表3-9所示。标准溶液制备的一般规定如下：

（1）本标准中所用的水，在没有注明其他要求时，应符合GB 6682《实验室用水规格》中三级水的规格。

（2）本标准中所用试剂的纯度应在分析纯以上。

（3）工作中所用分析天平的砝码、滴定管、容量瓶及移液管均需定期校正。

（4）本标准中标定时所用的基准试剂为容量分析工作基准试剂；制备标准溶液时所用的试剂为分析纯以上试剂。

（5）本标准中所制备的标准溶液的浓度均指20℃时的浓度。在标定和使用时，如温度有差异，应按表3-10补正。

（6）"标定"或"比较"标准溶液浓度时，平行试验不得少于8次，两人各作四平行，每人四平行测定结果的极差与平均值之比不得大于0.1%。两人测定结果平均值之差不得大于0.1%，结果取平均值。浓度值取四位有效数字。

（7）本标准中凡规定用"标定"和"比较"两种方法测定浓度时，不得略去其中任何一种，且两种方法测得的浓度值之差不得大于0.2%。以标定结果为准。

（8）制备的标准溶液浓度与规定浓度相对误差不得大于5%。

（9）配制浓度等于或低于0.02mol·L^{-1}标准溶液时，应于临用前将浓度高的标准溶液用煮沸并冷却的水稀释，必要时重新标定。

（10）碘量法反应时，溶液的温度不能过高，一般在15℃～20℃之间进行滴定。

（11）滴定分析（容量分析）用标准溶液在常温（15℃～25℃）下，保存时间一般不得超过2个月。

表3-8　滴定分析用标准溶液

序号	名　称	浓度① c/mol·L^{-1}		制备方法
1	草酸标准溶液	c（$1/2C_2H_2O_4$）＝0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 11
2	重铬酸钾标准溶液	c（$1/6K_2Cr_2O_7$）＝0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 5

续表

序号	名　称	浓度① c/mol·L^{-1}		制备方法
3	碘标准溶液	c（1/2　I_2）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 9
4	碘酸钾标准溶液	c（1/6　KIO_3）=0.3	(0.05M)	参见表3-9中序号10
		c（1/6　KIO_3）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号10
5	高氯酸标准溶液	c（$HClO_4$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号23
6	高锰酸钾标准溶液	c（1/5　$KMnO_4$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号12
7	硫代硫酸钠标准溶液	c（1/2　$Na_2S_2O_3$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 6
8	硫氰酸钠（或硫氰酸钾）标准溶液	c（NaCNS）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号20
9	硫酸标准溶液	c（1/2　H_2SO_4）=1	(1N)	参见表3-9中序号 3
		c（1/2　H_2SO_4）=0.5	(0.5N)	参见表3-9中序号 3
		c（1/2　H_2SO_4）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 3
10	硫酸铈（或硫酸铈铵）标准溶液	c〔Ce（SO_4）$_2$〕=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号14
11	硫酸亚铁铵标准溶液	c〔（NH_4）$_2$Fe（SO_4）$_2$〕=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号13
12	氯化镁（或硫酸镁）标准溶液	c（$MgCl_2$）=0.1	(0.1M)	参见表3-9中序号17
13	氯化钠标准溶液	c（NaCl）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号19
14	氯化锌标准溶液	c（$ZnCl_2$）=0.1	(0.1M)	参见表3-9中序号16
15	氢氧化钠标准溶液	c（NaOH）=1	(1N)	参见表3-9中序号 1
		c（NaOH）=0.5	(0.5N)	参见表3-9中序号 1
		c（NaOH）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 1
16	碳酸钠标准溶液	c（1/2　Na_2CO_3）=1	(1N)	参见表3-9中序号 4
		c（1/2　Na_2CO_3）=0.5	(0.5N)	参见表3-9中序号 4
		c（1/2　Na_2CO_3）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 4
17	硝酸铅标准溶液	c〔Pb（NO_3）$_2$〕=0.05	(0.05M)	参见表3-9中序号18
18	硝酸银标准溶液	c（$AgNO_3$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号21
19	溴标准溶液	c（1/6　$KBrO_3$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 7
20	溴酸钾标准溶液	c（1/6　$KBrO_3$）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 8
21	亚硝酸钠标准溶液	c（$NaNO_2$）=0.5	(0.5M)	参见表3-9中序号22
		c（$NaNO_2$）=0.1	(0.1M)	参见表3-9中序号 2
22	盐酸标准溶液	c（HCl）=1	(1N)	参见表3-9中序号 2
		c（HCl）=0.5	(0.5N)	参见表3-9中序号 2
		c（HCl）=0.1	(0.1N)	参见表3-9中序号 2
23	乙二胺四乙酸二钠标准溶液	c（EDTA）=0.1	(0.1M)	参见表3-9中序号15
		c（EDTA）=0.05	(0.05M)	参见表3-9中序号15
		c（EDTA）=0.01	(0.01M)	参见表3-9中序号15

① 括号中所列浓度为换算前的非法定单位及数据。

表 3-9　滴定分析用标准溶液的配制

顺序号	标　准　溶　液　的　制　备
1	氢氧化钠标准溶液 c（NaOH）=1mol·L^{-1} 1.配制 称取100g氢氧化钠，溶于100ml水中，摇匀，注入聚乙烯容器中，密闭放置至溶液清亮。用塑料管虹吸52ml体积的上层清液，注入1 000ml无二氧化碳的水中，摇匀 2.标定 （1）测定方法 称取6g于105℃～110℃烘至恒重的基准邻苯二甲酸氢钾，称准至0.0001g，溶于80ml体积的无二氧化碳的水中，加2滴酚酞指示液（10g·L^{-1}），用配制好的氢氧化钠溶液滴定至溶液呈粉红色，同时作空白试验 （2）计算 氢氧化钠标准溶液浓度按式（3—11）计算：

续表

顺序号	标准溶液的制备
1	

$$c\,(\text{NaOH})=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.204\ 2} \quad (3-11)$$

式中 c (NaOH) ——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；

m——邻苯二甲酸氢钾之质量，g；

V_1——氢氧化钠溶液之用量，ml；

V_2——空白试验氢氧化钠溶液之用量，ml；

0.204 2——与1.00ml氢氧化钠标准溶液〔c (NaOH) =1.000mol·L^{-1}〕相当的以克（g）表示的邻苯二甲酸氢钾的质量。

3. 比较

（1）测定方法

量取（30.00～35.00）ml c (HCl) =1mol·L^{-1}浓度的盐酸标准溶液，加50ml无二氧化碳的水及2滴酚酞指示液（10g·L^{-1}），用配制好的氢氧化钠溶液滴定，近终点时加热至80℃，继续滴定至溶液呈粉红色

（2）计算

氢氧化钠标准溶液浓度按式（3—12）计算：

$$c\,(\text{NaOH})=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \quad (3-12)$$

式中 c (NaOH) ——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}，

V_1——盐酸标准溶液之用量，ml；

c_1——盐酸标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；

V——氢氧化钠溶液之用量，ml。

c (NaOH) =0.5mol·L^{-1}和c (NaOH) =0.1mol·L^{-1}标准溶液参照上述方法制备，改变的参数列于下表：

标准溶液浓度 mol·L^{-1}	配制时量取氢氧化钠浓溶液的体积 ml	标定时称取基准物质的质量 g	溶解基准物质的水量 ml	比较所用盐酸标准溶液的浓度 mol·L^{-1}
c (NaOH) =0.5	26	3	80	c (HCl) =0.5
c (NaOH) =0.1	5	0.6	50	c (HCl) =0.1

顺序号	标准溶液的制备
2	盐酸标准溶液 c (HCl) =1mol·L^{-1}

1. 配制

量取盐酸90ml注入1 000ml水中，摇匀

2. 标定

（1）测定方法

称取1.6g于（270～300）℃灼烧至恒重的基准无水碳酸钠，称准至0.0001g。溶于50ml水中，加10滴溴甲酚绿-甲基红混合指示液，用配制好的盐酸溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色，煮沸2min，冷却后继续滴定至溶液再呈暗红色。同时作空白试验

（2）计算

盐酸标准溶液浓度按式（3—13）计算：

$$c\,(\text{HCl})=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.052\ 99} \quad (3-13)$$

式中 c (HCl) ——盐酸标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；

m——无水碳酸钠之质量，g；

V_1——盐酸溶液之用量，ml；

V_2——空白试验盐酸溶液之用量，ml；

0.052 99——与1.00ml盐酸标准溶液〔c (HCl) =1.000mol·L^{-1}〕相当的以克（g）表示的无水碳酸钠的质量。

续表

顺序号	标准溶液的制备

2

3. 比较

（1）测定方法

量取（30.00～35.00）ml c（NaOH）＝1mol·L^{-1}浓度的氢氧化钠标准溶液，加50ml无二氧化碳的水及2滴酚酞指示液（10g·L^{-1}），用配制好的盐酸溶液滴定，近终点时加热至80℃，继续滴定至溶液呈粉红色

（2）计算

盐酸标准溶液浓度按式（3—14）计算：

$$c\,(\mathrm{HCl})=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \qquad (3-14)$$

式中　c（HCl）——盐酸标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；

V_1——氢氧化钠标准溶液之用量，ml；

c_1——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度；mol·L^{-1}；

V——盐酸溶液之用量，ml。

c（HCl）＝0.5mol·L^{-1}和 c（HCl）＝0.1mol·L^{-1}标准溶液参照上述方法制备，改变的参数如下所示：

标准溶液浓度 mol·L^{-1}	配制时量取盐酸的体积 ml	标定时称取基准物质的重量 g	比较所用氢氧化钠标准溶液的浓度 mol·L^{-1}
c（HCl）＝0.5	45	0.8	c（NaOH）＝0.5
c（HCl）＝0.1	9	0.2	c（NaOH）＝0.1

3

硫酸标准溶液　$c\left(\frac{1}{2}\mathrm{H_2SO_4}\right)=1\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$

1. 配制

量取硫酸30ml，缓缓注入1000ml水中，冷却，摇匀

2. 标定

（1）测定方法

称取1.6g（270～300）℃灼烧至恒重的基准无水碳酸钠，称准至0.0001g。溶于50ml水中，加10滴溴甲酚绿-甲基红混合指示液，用配制好的硫酸溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色，煮沸2min，冷却后继续滴定至溶液再呈暗红色。同时作空白试验

（2）计算

硫酸标准溶液浓度按式（3—15）计算：

$$c\left(\frac{1}{2}\mathrm{H_2SO_4}\right)=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.0529\,9} \qquad (3-15)$$

式中　$c\left(\frac{1}{2}\mathrm{H_2SO_4}\right)$——硫酸标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；

m——无水碳酸钠之质量，g；

V_1——硫酸溶液之用量，ml；

V_2——空白试验硫酸溶液之用量，ml；

0.0529 9——与1.00ml硫酸标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}\mathrm{H_2SO_4}\right)=1.000\mathrm{mol\cdot L^{-1}}\right]$相当的以克（g）表示的无水碳酸钠的质量。

3. 比较

（1）测定方法　量取（30.00～35.00）ml c（NaOH）＝1mol·L^{-1}浓度的氢氧化钠标准溶液，加50ml无二氧化碳的水及2滴酚酞指示液（10g·L^{-1}），用配制好的硫酸溶液滴定，近终点时加热至80℃，继续滴定至溶液呈粉红色

（2）计算　硫酸标准溶液浓度按式（3—16）计算：

$$c\left(\frac{1}{2}\mathrm{H_2SO_4}\right)=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \qquad (3-16)$$

续表

<table>
<tr><th>顺序号</th><th>标准溶液的制备</th></tr>
<tr><td>3</td><td>式中 $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$——硫酸标准溶液之物质的量浓度，mol・L⁻¹；
V_1——氢氧化钠标准溶液之用量，ml；
c_1——氢氧化钠标准溶液之物质的量浓度，mol・L⁻¹；
V——硫酸溶液之用量，ml。
$c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.5mol\cdot L^{-1}$和$c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$标准溶液参照上述方法制备，改变的参数如下表所示：
<table><tr><th>标准溶液的浓度
mol・L⁻¹</th><th>配制时量取硫酸的体积
ml</th><th>标定时称取基准物质的质量
g</th><th>比较所用氢氧化钠标准溶液的浓度
mol・L⁻¹</th></tr><tr><td>$c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.5$</td><td>15</td><td>0.8</td><td>c (NaOH) =0.5</td></tr><tr><td>$c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.1$</td><td>3</td><td>0.2</td><td>c (NaOH) =0.1</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>4</td><td>碳酸钠标准溶液 $c\left(\frac{1}{2}Na_2CO_3\right)=1mol\cdot L^{-1}$
1. 配制　称取 53g 无水碳酸钠，溶于 1 000ml 水中，摇匀
2. 标定
(1) 测定方法　量取（30.00～35.00）ml 配制好的碳酸钠溶液，加 50ml 水，加 10 滴溴甲酚绿-甲基红混合指示液，用 c (HCl) =1mol・L⁻¹浓度的盐酸标准溶液滴定至溶液由绿色变为暗红色，煮沸 2min，冷却后继续滴定至溶液再呈暗红色。
(2) 计算　碳酸钠标准溶液浓度按式（3—17）计算：
$$c\left(\frac{1}{2}Na_2CO_3\right)=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \quad (3\text{—}17)$$
式中 $c\left(\frac{1}{2}Na_2CO_3\right)$——碳酸钠标准溶液之物质的量浓度，mol・L⁻¹；
V_1——盐酸标准溶液之用量，ml；
c_1——盐酸标准溶液之物质的量浓度，mol・L⁻¹；
V——碳酸钠溶液之用量，ml。
$c\left(\frac{1}{2}Na_2CO_3\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$标准溶液参照上述方法制备，配制时称取 5.3g 无水碳酸钠，测定时加入水量为 20ml，所用盐酸标准溶液的浓度为 c (HCl) =0.1mol・L⁻¹</td></tr>
<tr><td>5</td><td>重铬酸钾标准溶液 $c\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$
1. 配制　称取 5g 重铬酸钾，溶于 1 000ml 水中，摇匀
2. 标定
(1) 测定方法　量取（30.00～35.00）ml 配制好的重铬酸钾溶液$\left[c\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$，置于碘量瓶中，加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液（20%），摇匀，于暗处放置 10min。加 150ml 水，用硫代硫酸钠标准溶液〔c ($Na_2S_2O_3$) =0.1mol・L⁻¹〕滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液（5g・L⁻¹），继续滴定至溶液由蓝色变为亮绿色。同时作空白试验。
(2) 计算　重铬酸钾标准溶液浓度按式（3—18）计算：
$$c\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3\text{—}18)$$
式中 $c\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right)$——重铬酸钾标准溶液之物质的量浓度，mol・L⁻¹；</td></tr>
</table>

续表

<table>
<tr><th>顺序号</th><th>标准溶液的制备</th></tr>
<tr><td>5</td><td>V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml；
V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml；
c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$；
V——重铬酸钾溶液之用量，ml。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>硫代硫酸钠标准溶液　$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol \cdot L^{-1}$
1. 配制　称取 26g 硫代硫酸钠（$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$）（或 16g 无水硫代硫酸钠），溶于 1 000ml 水中，缓缓煮沸 10min，冷却。放置两周后过滤备用
2. 标定
（1）测定方法　称取 0.15g 于 120℃烘至恒重的基准重铬酸钾，称准至 0.0001g。置于碘量瓶中，溶于 25ml 水，加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液（20%），摇匀，于暗处放置 10min。加 150ml 水，用配制好的硫代硫酸钠溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定。近终点时加 3ml 淀粉指示液（$5g \cdot L^{-1}$），继续滴定至溶液由蓝色变为亮绿色。同时作空白试验
（2）计算　硫代硫酸钠标准溶液浓度按式（3—19）计算：
$$c(Na_2S_2O_3)=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.04903} \quad (3\text{—}19)$$
式中　$c(Na_2S_2O_3)$——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$；
m——重铬酸钾之质量，g；
V_1——硫代硫酸钠溶液之用量，ml；
V_2——空白试验硫代硫酸钠溶液之用量，ml；
0.049 03——与 1.00ml 硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=1.000mol \cdot L^{-1}$〕相当的以克（g）表示的重铬酸钾的质量。
3. 比较
（1）测定方法　准确量取（30.00～35.00）ml 碘标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol \cdot L^{-1}\right]$，置于碘量瓶中，加 150ml 水，用配制好的硫代硫酸钠溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液（$5g \cdot L^{-1}$），继续滴定至溶液蓝色消失
同时作水所消耗碘的空白试验：取 250ml 水，加 0.05ml 碘标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol \cdot L^{-1}\right]$及 3ml 淀粉指示液（$5g \cdot L^{-1}$），用配制好的硫代硫酸钠溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定至溶液蓝色消失。
（2）计算　硫代硫酸钠标准溶液浓度按式（3—20）计算：
$$c(Na_2S_2O_3)=\frac{(V_1-0.05)\cdot c_1}{V-V_2} \quad (3\text{—}20)$$
式中　$c(Na_2S_2O_3)$——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$；
V_1——碘标准溶液之用量，ml；
c_1——碘标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$；
V——硫代硫酸钠溶液之用量，ml；
V_2——空白试验硫代硫酸钠溶液之用量，ml；
0.05——空白试验中加入碘标准溶液之用量，ml。</td></tr>
<tr><td>7</td><td>溴标准溶液　$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=0.1mol \cdot L^{-1}$
1. 配制　称取 3g 溴酸钾及 25g 溴化钾，溶于 1 000ml 水中，摇匀
2. 标定
（1）测定方法　量取（30.00～35.00）ml 配制好的溴溶液$\left[c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=0.1mol \cdot L^{-1}\right]$，置于碘量瓶中，加 2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液（20%），摇匀。于暗处放置 5min。加 150ml 水，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液（$5g \cdot L^{-1}$），继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验</td></tr>
</table>

续表

顺序号	标准溶液的制备
7	(2) 计算　溴标准溶液浓度按式 (3—21) 计算: $$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3—21)$$ 式中　$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)$——溴标准溶液之物质的量浓度，mol·L⁻¹; V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml; c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L⁻¹; V——溴溶液之用量，ml。
8	溴酸钾标准溶液　$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取 3g 溴酸钾，溶于 1 000ml 水中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　量取 (30.00～35.00) ml 配制好的溴酸钾溶液$\left[c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$，置于碘量瓶中，加 2g 碘化钾及 5ml 盐酸溶液 (20%)，摇匀，于暗处放置 5min。加 150ml 水，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液 (5g·L⁻¹)，继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验 (2) 计算　溴酸钾标准溶液浓度按式 (3—22) 计算: $$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3—22)$$ 式中　$c\left(\frac{1}{6}KBrO_3\right)$——溴酸钾标准溶液之物质的量浓度，mol·L⁻¹; V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml; V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml; c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L⁻¹; V——溴酸钾溶液之用量，ml。
9	碘标准溶液　$c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取 13g 碘及 35g 碘化钾，溶于 100ml 水中，稀释至 1 000ml，摇匀，保存于棕色具塞瓶中。 2. 标定 (1) 测定方法　称取 0.15g 预先在硫酸干燥器中干燥至恒重的基准三氧化二砷，称准至 0.0001g。置于碘量瓶中，加 4ml 氢氧化钠溶液〔$c(NaOH)=1mol\cdot L^{-1}$〕溶解，加 50ml 水，加 2 滴酚酞指示液 (10g·L⁻¹)，用硫酸溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=1mol\cdot L^{-1}\right]$中和，加 3g 碳酸氢钠及 3ml 淀粉指示液 (5g·L⁻¹)，用配制好的碘溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定至溶液呈浅蓝色。同时作空白试验 (2) 计算　碘标准溶液浓度按式 (3—23) 计算: $$c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.04946} \quad (3—23)$$ 式中　$c\left(\frac{1}{2}I_2\right)$——碘标准溶液之物质的量浓度，mol·L⁻¹; m——三氧化二砷质量，g; V_1——碘溶液之用量，ml; V_2——空白试验碘溶液之用量，ml; 0.049 46——与 1.00ml 碘标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=1.000mol\cdot L^{-1}\right]$相当的以克 (g) 表示的三氧化二砷的质量。

续表

顺序号	标准溶液的制备
9	3. 比较 (1) 测定方法　准确量取(30.00～35.00)ml硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕，置于碘量瓶中，加150ml水，用配制好的碘溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定，近终点时加3ml淀粉指示液($5g\cdot L^{-1}$)，继续滴定至溶液蓝色消失同时作水所消耗碘的空白试验：取250ml水，加0.05ml配制好的碘溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$及3ml淀粉指示液($5g\cdot L^{-1}$)，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕滴定至溶液蓝色消失 (2) 计算　碘标准溶液浓度按式(3—24)计算： $$c\left(\frac{1}{2}I_2\right)=\frac{(V-V_2)\cdot c_1}{V_1-0.05} \quad (3—24)$$ 式中　$c\left(\frac{1}{2}I_2\right)$——碘标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V_1——碘溶液之用量，ml； 0.05——空白试验中加入碘溶液之用量，ml。
10	碘酸钾标准溶液　$c\left(\frac{1}{6}KIO_3\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取3.6g碘酸钾，溶于1 000ml水中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　量取(30.00～35.00)ml配制好的碘酸钾溶液，置于碘量瓶中，加2g碘化钾，加5ml盐酸溶液(20%)，摇匀，于暗处放置5min。加150ml水，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加3ml淀粉指示液($5g\cdot L^{-1}$)，继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验 (2) 计算　碘酸钾标准溶液浓度按式(3—25)计算： $$c\left(\frac{1}{6}KIO_3\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3—25)$$ 式中　$c\left(\frac{1}{6}KIO_3\right)$——碘酸钾标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V——碘酸钾溶液之用量，ml。 $c\left(\frac{1}{6}KIO_3\right)=0.3mol\cdot L^{-1}$标准溶液参照上述方法制备。配制时称取碘酸钾应改为11g，标定时量取的碘酸钾溶液为(10～13)ml并加水20ml，加入碘化钾改为3g
11	草酸标准溶液　$c\left(\frac{1}{2}C_2H_2O_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取6.4g草酸($C_2H_2O_4\cdot 2H_2O$)，溶于1 000ml水中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　量取(30.00～35.00)ml配制好的草酸溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}C_2H_2O_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$，加100ml硫酸溶液(8+92)，用高锰酸钾标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定，近终点时加热至65℃，继续滴定至溶液呈粉红色保持30s。同时作空白试验 (2) 计算　草酸标准溶液浓度按式(3—26)计算：

续表

<table>
<tr><th>顺序号</th><th>标准溶液的制备</th></tr>
<tr><td>11</td><td>

$$c\left(\frac{1}{2}C_2H_2O_4\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3\text{—}26)$$

式中 $c\left(\frac{1}{2}C_2H_2O_4\right)$——草酸标准溶液之物质的量浓度，mol·$L^{-1}$；
V_1——高锰酸钾标准溶液之用量，ml；
V_2——空白试验高锰酸钾标准溶液之用量，ml；
c_1——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；
V——草酸溶液之用量，ml。
</td></tr>
<tr><td>12</td><td>

高锰酸钾标准溶液 $c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}$

1. 配制　称取 3.3g 高锰酸钾，溶于 1050ml 水中，缓缓煮沸 15min，冷却后置于暗处保存两周。以 4 号玻璃滤埚过滤于干燥的棕色瓶中

注：过滤高锰酸钾溶液所使用的 4 号玻璃滤埚预先应以同样的高锰酸钾溶液缓缓煮沸 5min，收集瓶也要用此高锰酸钾溶液洗涤 2—3 次

2. 标定

(1) 测定方法　称取 0.2g 于 (105～110)℃烘至恒重的基准草酸钠，称准至 0.0001g。溶于 100ml 硫酸溶液 (8+92) 中，用配制好的高锰酸钾溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定，近终点时加热至 65℃，继续滴定至溶液呈粉红色保持 30s。同时作空白试验

(2) 计算　高锰酸钾标准溶液浓度按式 (3—27) 计算：

$$c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.06700} \quad (3\text{—}27)$$

式中 $c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)$——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度，mol·$L^{-1}$；
m——草酸钠之质量，g；
V_1——高锰酸钾溶液之用量，ml；
V_2——空白试验高锰酸钾溶液之用量，ml；
0.067 00——与 1.00ml 高锰酸钾标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=1.000mol\cdot L^{-1}\right]$相当的以克(g)表示的草酸钠的质量。

3. 比较

(1) 测定方法　量取 (30.00～35.00) ml 配制好的高锰酸钾溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$，置于碘量瓶中，加 2g 碘化钾及 20ml 硫酸溶液 (20%)，摇匀，于暗处放置 5min。加 150ml 水，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加 3ml 淀粉指示液 (5g·$L^{-1}$)，继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验

(2) 计算　高锰酸钾标准溶液浓度按式 (3—28) 计算：

$$c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3\text{—}28)$$

式中 $c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)$——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度，mol·$L^{-1}$；
V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml；
V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml；
c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}；
V——高锰酸钾溶液之用量，ml。
</td></tr>
<tr><td>13</td><td>

硫酸亚铁铵标准溶液 $c[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2]=0.1mol\cdot L^{-1}$

1. 配制　称取 40g 硫酸亚铁铵〔$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2\cdot 6H_2O$〕溶于 300ml 硫酸溶液 (20%) 中，加 700ml 水，摇匀。
</td></tr>
</table>

续表

顺序号	标准溶液的制备
13	2. 标定 （1）测定方法　量取（30.00～35.00）ml配制好的硫酸亚铁铵溶液｛c〔$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$〕$=0.1mol\cdot L^{-1}$｝，加25ml无氧的水，用高锰酸钾标准溶液$\left[c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)=0.1mol\cdot L^{-1}\right]$滴定至溶液呈粉红色，保持30s （2）计算　硫酸亚铁铵标准溶液浓度按式（3—29）计算： $$c[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2]=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \quad (3-29)$$ 式中　c〔$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$〕——硫酸亚铁铵标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V_1——高锰酸钾标准溶液之用量，ml； c_1——高锰酸钾标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V——硫酸亚铁铵溶液之用量，ml。 注：本标准溶液使用前标定
14	硫酸铈（或硫酸铈铵）标准溶液　c〔$Ce(SO_4)_2$〕$=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取40g硫酸铈〔$Ce(SO_4)_2\cdot 4H_2O$〕｛或67g硫酸铈铵〔$2(NH_4)_2SO_4\cdot Ce(SO_4)_2\cdot 4H_2O$〕｝，加30ml水及28ml硫酸，再加300ml水，加热溶解，再加入650ml水，摇匀 2. 标定 （1）测定方法　称取0.2g于（105～110）℃烘至恒重的基准草酸钠，称准至0.0001g。溶于75ml水中，加4ml硫酸溶液（20%）及10ml盐酸，加热至（65～70）℃，用配制好的硫酸铈（或硫酸铈铵）溶液｛c〔$Ce(SO_4)_2$〕$=0.1mol\cdot L^{-1}$｝滴定至溶液呈浅黄色。加入3滴亚铁-邻菲啰啉指示液[①]使溶液变为桔红色，继续滴定至溶液呈浅蓝色。同时作空白试验 注：①亚铁-邻菲啰啉指示液的配制：称取0.7g硫酸亚铁（$FeSO_4\cdot 7H_2O$）置于小烧杯中，加30ml硫酸溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.02mol\cdot L^{-1}\right]$溶解，再加入1.5g邻菲啰啉振摇溶解后，用硫酸溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=0.02mol\cdot L^{-1}\right]$冲稀至100ml （2）计算　硫酸铈（或硫酸铈铵）标准溶液浓度按式（3—30）计算： $$c[Ce(SO_4)_2]=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.06700} \quad (3-30)$$ 式中　c〔$Ce(SO_4)_2$〕——硫酸铈标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； m——草酸钠质量，g； V_1——硫酸铈溶液之用量，ml； V_2——空白试验硫酸铈溶液之用量，ml； 0.067 00——与1.00ml硫酸铈标准溶液｛c〔$Ce(SO_4)_2$〕$=1.000mol\cdot L^{-1}$｝相当的以克（g）表示的草酸钠的质量。 3. 比较 （1）测定方法　量取（30.00～35.00）ml配制好的硫酸铈（或硫酸铈铵）溶液｛c〔$Ce(SO_4)_2$〕$=0.1mol\cdot L^{-1}$｝置于碘量瓶中，加2g碘化钾及20ml硫酸溶液（20%），摇匀，于暗处放置5min。加150ml水，用硫代硫酸钠标准溶液〔$c(Na_2S_2O_3)=0.1mol\cdot L^{-1}$〕滴定，近终点时加3ml淀粉指示液（$5g\cdot L^{-1}$），继续滴定至溶液蓝色消失。同时作空白试验 （2）计算　硫酸铈（或硫酸铈铵）标准溶液浓度按式（3—31）计算： $$c[Ce(SO_4)_2]=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3-31)$$ 式中　c〔$Ce(SO_4)_2$〕——硫酸铈标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； V_1——硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml；

续表

顺序号	标准溶液的制备
14	V_2——空白试验硫代硫酸钠标准溶液之用量，ml； c_1——硫代硫酸钠标准溶液之物质的量浓度，mol・L^{-1}； V——硫酸铈溶液之用量，ml。
15	乙二胺四乙酸二钠标准溶液　c（EDTA）＝0.1mol・L^{-1} 1. 配制　称取40g乙二胺四乙酸二钠，加热溶于1 000ml水中，冷却，摇匀。 〔配制c（EDTA）＝0.05mol・L^{-1}标准溶液称取20g乙二胺四乙酸二钠；配制c（EDTA）＝0.02mol・L^{-1}标准溶液称取8g乙二胺四乙酸二钠〕 2. 标定 （1）测定方法　乙二胺四乙酸二钠标准溶液〔c（EDTA）＝0.1mol・L^{-1}〕：称取0.25g于800℃灼烧至恒重的基准氧化锌，称准至0.0001g。用少量水湿润，加2ml盐酸溶液（20%）使样品溶解，加100ml水，用氨水溶液（10%）中和至pH＝7～8，加10ml氨-氯化铵缓冲溶液甲（pH≈10）及5滴铬黑T指示液（5g・L^{-1}），用配制好的乙二胺四乙酸二钠溶液〔c（EDTA）＝0.1mol・L^{-1}〕滴定至溶液由紫色变为纯蓝色。同时作空白试验 ｛乙二胺四乙酸二钠标准溶液〔c（EDTA）＝0.05mol・L^{-1}、c（EDTA）＝0.02mol・L^{-1}〕：称取规定量〔1、0.4g〕于800℃灼烧至恒重的基准氧化锌，称准至0.0002g。用少量水湿润，加盐酸溶液（20%）至样品溶解，移入250ml容量瓶中，稀释至刻度，摇匀。取（30.00～35.00）ml，加70ml水，用氨水溶液（10%）中和至pH＝7～8，加10ml氨-氯化铵缓冲溶液甲（pH＝10）及5滴铬黑T指示液（5g・L^{-1}），用配制好的乙二胺四乙酸二钠溶液滴定至溶液由紫色变为纯蓝色。同时作空白试验｝ （2）计算　乙二胺四乙酸二钠标准溶液浓度按式（3—32）计算： $$c\,(\text{EDTA})=\frac{m}{(V_1-V_2)\times 0.08138} \qquad (3—32)$$ 式中　c（EDTA）——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度，mol・L^{-1}； m——氧化锌之质量，g； V_1——乙二胺四乙酸二钠溶液之用量，ml； V_2——空白试验乙二胺四乙酸二钠溶液之用量，ml； 0.081 38——与1.00ml乙二胺四乙酸二钠标准溶液〔c（EDTA）＝1.000mol・L^{-1}〕相当的以克（g）表示的氧化锌的质量。
16	氯化锌标准溶液　c（$ZnCl_2$）＝0.1mol・L^{-1} 1. 配制　称取14g氯化锌，溶于1 000ml盐酸溶液（ϕ＝0.05%）中，摇匀 2. 标定 （1）测定方法　量取（30.00～35.00）ml配制好的氯化锌溶液〔c($ZnCl_2$)＝0.1 mol・L^{-1}〕，加70ml水及10ml氨-氯化铵缓冲溶液甲（pH＝10），加5滴铬黑T指示液（5g・L^{-1}），用乙二铵四乙酸二钠标准溶液〔c（EDTA）＝0.1mol・L^{-1}〕滴定至溶液由紫色变为纯蓝色。同时作空白试验 （2）计算　氯化锌标准溶液浓度按式（3—33）计算： $$c\,(ZnCl_2)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \qquad (3—33)$$ 式中　c（$ZnCl_2$）——氯化锌标准溶液之物质的量浓度，mol・L^{-1}； V_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量，ml； c_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度，mol・L^{-1}； V——氯化锌溶液之用量，ml。
17	氯化镁（或硫酸镁）标准溶液　c（$MgCl_2$）＝0.1mol・L^{-1} 1. 配制　称取21g氯化镁（$MgCl_2\cdot 6H_2O$）〔或25g硫酸镁（$MgSO_4\cdot 7H_2O$）〕溶于1 000ml盐酸溶液(0.5＋999.5）中，放置1个月后，用3号玻璃滤埚过滤，摇匀

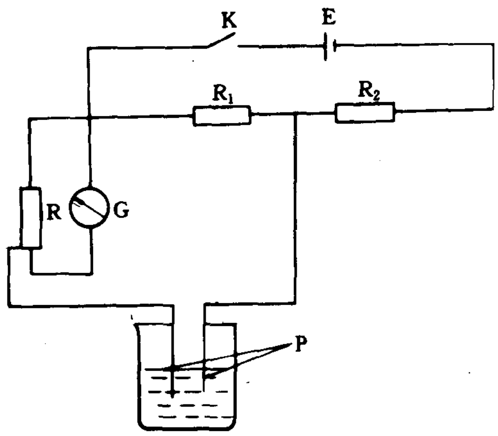
续表

顺序号	标准溶液的制备
17	2. 标定 (1) 测定方法　量取 (30.00～35.00) ml 配制好的氯化镁溶液〔c ($MgCl_2$) =0.1mol·L^{-1}〕，加 70ml 水及 10ml 氨-氯化铵缓冲溶液甲 (pH=10)，加 5 滴铬黑 T 指示液 (5g·L^{-1})，用乙二胺四乙酸二钠标准溶液〔c (EDTA) =0.1mol·L^{-1}〕滴定至溶液由紫色变为纯蓝色。同时作空白试验 (2) 计算　氯化镁（或硫酸镁）标准溶液浓度按式 (3—34) 计算： $$c(MgCl_2)=\frac{(V_1-V_2)\cdot c_1}{V} \quad (3-34)$$ 式中　c ($MgCl_2$) ——氯化镁标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量，ml； V_2——空白试验乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量，ml； c_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V——氯化镁溶液之用量，ml。
18	硝酸铅标准溶液　$c[Pb(NO_3)_2]$=0.05mol·L^{-1} 1. 配制　称取 17g 硝酸铅，溶于 10 00ml 硝酸溶液 (0.5+999.5) 中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　量取 (30.00～35.00) ml 配制好的硝酸铅溶液 {c 〔Pb (NO_3)$_2$〕 =0.05mol·L}，加 3ml 冰乙酸及 5g 六次甲基四胺，加 70ml 水及 2 滴二甲酚橙指示液 (2g·L^{-1})，用乙二胺四乙酸二钠标准溶液〔c (EDTA) =0.05mol·L^{-1}〕滴定至溶液呈亮黄色 (2) 计算　硝酸铅标准溶液浓度按式 (3—35) 计算： $$c[Pb(NO_3)_2]=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \quad (3-35)$$ 式中　$c[Pb(NO_3)_2]$——硝酸铅标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之用量，ml； c_1——乙二胺四乙酸二钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V——硝酸铅溶液之用量，ml。
19	氯化钠标准溶液　c (NaCl) =0.1mol·L^{-1} 1. 配制　称取 5.9g 氯化钠，溶于 1000ml 水中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　量取 (30.00～35.00) ml 配制好的氯化钠溶液〔c (NaCl) =0.1mol·L^{-1}〕，加 40ml 水及 10ml 淀粉溶液 (10g·L^{-1})，用硝酸银标准溶液〔c ($AgNO_3$) =0.1mol·L^{-1}〕滴定。用 216 型银电极作指示电极，用 217 型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极。按 GB9725 中二级微商法之规定确定终点 (2) 计算　氯化钠标准溶液浓度按式 (3—36) 计算： $$c(NaCl)=\frac{V_1\cdot c_1}{V} \quad (3-36)$$ 式中　c (NaCl) ——氯化钠标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V_1——硝酸银标准溶液之用量，ml； c_1——硝酸银标准溶液之物质的量浓度，mol·L^{-1}； V——氯化钠溶液之用量，ml。
20	硫氰酸钠（或硫氰酸钾）标准溶液　c (NaCNS) =0.1mol·L^{-1} 1. 配制　称取 8.2g 硫氰酸钠（或 9.7g 硫氰酸钾）溶于 1 000ml 水中，摇匀 2. 标定 (1) 测定方法　称取 0.5g 于硫酸干燥器中干燥至恒重的基准硝酸银，称准至 0.0001g。溶于 100ml 水中，加 2ml 硫酸铁铵指示液(80g·L^{-1})及 10ml 硝酸溶液(25%)，在摇动下用配制好的硫氰酸钠(或硫氰酸钾)溶液〔c(NaCNS)=0.1mol·L^{-1}〕滴定。终点前摇动溶液至完全清亮后，继续滴定至溶液所呈浅棕红色保持 30s

续表

顺序号	标准溶液的制备
20	(2) 计算　硫氰酸钠(或硫氰酸钾)标准溶液浓度按式(3—37)计算: $$c\ (\mathrm{NaCNS})=\frac{m}{V\times 0.1699}\qquad(3\text{—}37)$$ 式中　c (NaCNS) ——硫氰酸钠标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; m——硝酸银之质量,g; V——硫氰酸钠溶液之用量,ml; 0.169 9——与1.00ml硫氰酸钠标准溶液〔c (NaCNS) =1.000$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕相当的以克(g)表示的硝酸银的质量。 3. 比较 (1) 测定方法　量取(30.00～35.00)ml硝酸银标准溶液〔c ($AgNO_3$) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕,加70ml水、1ml硫酸铁铵指示液(80g·$\mathrm{L^{-1}}$)及10ml硝酸溶液(25%),在摇动下用配制好的硫氰酸钠(或硫氰酸钾)溶液〔c (NaCNS) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕滴定。终点前摇动溶液至完全清亮后,继续滴定至溶液所呈浅棕红色保持30s (2) 计算　硫氰酸钠(或硫氰酸钾)标准溶液浓度按式(3—38)计算: $$c\ (\mathrm{NaCNS})=\frac{V_1\cdot c_1}{V}\qquad(3\text{—}38)$$ 式中　c (NaCNS) ——硫氰酸钠标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; V_1——硝酸银标准溶液之用量,ml; c_1——硝酸银标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; V——硫氰酸钠溶液之用量,ml。
21	硝酸银标准溶液　c ($AgNO_3$) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$ 1. 配制　称取17.5g硝酸银,溶于1000ml水中,摇匀。溶液保存于棕色瓶中 2. 标定 (1) 测定方法　称取0.2g于(500～600)℃灼烧至恒重的基准氯化钠,称准至0.0001g。溶于70ml水中,加10ml淀粉溶液(10g·$\mathrm{L^{-1}}$),用配制好的硝酸银溶液〔c ($AgNO_3$) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕滴定。用216型银电极作指示电极,用217型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极。按GB9725中二级微商法之规定确定终点 (2) 计算　硝酸银标准溶液浓度按式(3—39)计算: $$c\ (AgNO_3)=\frac{m}{V\times 0.05844}\qquad(3\text{—}39)$$ 式中　c ($AgNO_3$) ——硝酸银标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; m——氯化钠之质量,g; V——硝酸银溶液之用量,ml; 0.058 44——与1.00ml硝酸银标准溶液〔c ($AgNO_3$) =1.000$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕相当的以克(g)表示的氯化钠质量。 3. 比较 (1) 测定方法　量取(30.00～35.00)ml配制好的硝酸银溶液〔c ($AgNO_3$) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕,加40ml水、1ml硝酸,用硫氰酸钾标准溶液〔c (KCNS) =0.1$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$〕滴定。用216型银电极作指示电极,217型双盐桥饱和甘汞电极作参比电极。按GB9725中二级微商法之规定确定终点 (2) 计算　硝酸银标准溶液浓度按式(3—40)计算: $$c\ (AgNO_3)=\frac{V_1\cdot c_1}{V}\qquad(3\text{—}40)$$ 式中　c ($AgNO_3$) ——硝酸银标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; V_1——硫氰酸钾标准溶液之用量,ml; c_1——硫氰酸钾标准溶液之物质的量浓度,$\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; V——硝酸银溶液之用量,ml。

续表

顺序号	标准溶液的制备
22	亚硝酸钠标准溶液　$c(NaNO_2)=0.5mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　称取下述规定量的亚硝酸钠、氢氧化钠及无水碳酸钠，溶于1 000ml水中，摇匀。 $c(NaNO_2)$，$mol\cdot L^{-1}$ / 亚硝酸钠，g / 氢氧化钠，g / 无水碳酸钠，g 0.5 / 36 / 0.5 / 1 0.1 / 7.2 / 0.1 / 0.2 2. 标定 （1）测定方法　称取下述规定量的于120℃烘至恒重的基准无水对氨基苯磺酸，称准至0.000 1g。加下述规定体积的氨水溶解，加200ml水及20ml盐酸，按永停滴定法安装好电极和测量仪表（见下图）。将装有配制好的亚硝酸钠溶液的滴管下口插入溶液内约10mm处，在搅拌下于（15～20）℃进行滴定，近终点时，将滴管的尖端提出液面，用少量水淋洗尖端，洗液并入溶液中，继续慢慢滴定，并观察检流计读数和指针偏转情况，直至加入滴定液搅拌后电流突增，并不再回复时为滴定终点 （2）计算　亚硝酸钠标准溶液浓度按式（3—41）计算： $$c(NaNO_2)=\frac{m}{V\times 0.173\,2} \quad (3\text{—}41)$$ 式中　$c(NaNO_2)$——亚硝酸钠标准溶液之物质的量浓度，$mol\cdot L^{-1}$； m——无水对氨基苯磺酸之质量，g； V——亚硝酸钠溶液之用量，ml； 0.173 2——与1.00ml亚硝酸钠标准溶液［$c(NaNO_2)=1.000mol\cdot L^{-1}$］相当的以克（g）表示的无水对氨基苯磺酸的质量。 注：本标准溶液使用前标定  测量仪表安装示意图 R—电阻，其阻值与检流计临界阻尼电阻值近似；R_1—电阻，60—70Ω（或用可变电阻），使加于二电极上的电压约为50mV；R_2—电阻，2 000Ω；E—1.5V干电池；K—开关；G—检流计，灵敏度为10^{-9}A/格；P—铂电极
23	高氯酸标准溶液　$c(HClO_4)=0.1mol\cdot L^{-1}$ 1. 配制　量取8.5ml高氯酸，在搅拌下注入500ml冰乙酸中，混匀。在室温下滴加20ml乙酸酐，搅拌至溶液均匀。冷却后用冰乙酸稀释至1 000ml，摇匀 2. 标定

续表

顺序号	标准溶液的制备
23	(1) 测定方法　称取0.6g于(105～110)℃烘至恒重的基准邻苯二甲酸氢钾，称准至0.0001g。置于干燥的锥形瓶中，加入50ml冰乙酸，温热溶解。加2～3滴结晶紫指示液（$5g \cdot L^{-1}$），用配制好的高氯酸溶液〔$c(HClO_4)=0.1mol \cdot L^{-1}$〕滴定至溶液由紫色变为蓝色（微带紫色） (2) 计算　高氯酸标准溶液浓度按式（3—42）计算： $$c(HClO_4)=\frac{m}{V \times 0.2042} \qquad (3-42)$$ 式中　$c(HClO_4)$——高氯酸标准溶液之物质的量浓度，$mol \cdot L^{-1}$； m——邻苯二甲酸氢钾之质量，g； V——高氯酸溶液之用量，ml； 0.2042——与1.00ml高氯酸标准溶液〔$c(HClO_4)=1.000mol \cdot L^{-1}$〕相当的以克（g）表示的邻苯二甲酸氢钾的质量。 注：本溶液使用前标定。标定高氯酸标准溶液时的温度应与使用该标准溶液滴定时的温度相同

表3-10　不同标准溶液，不同浓度的温度补正值

补正值 / 标准溶液种类 / 温度 t/℃	水和 $0.05mol \cdot L^{-1}$ 以下的各种水溶液	$0.1mol \cdot L^{-1}$ 和 $0.2mol \cdot L^{-1}$ 各种水溶液	盐酸溶液 $c(HCl)=0.5mol \cdot L^{-1}$	盐酸溶液 $c(HCl)=1mol \cdot L^{-1}$	硫酸溶液 $c(\frac{1}{2}H_2SO_4)=0.5mol \cdot L^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(NaOH)=0.5mol \cdot L^{-1}$	硫酸溶液 $c(\frac{1}{2}H_2SO_4)=1mol \cdot L^{-1}$ 氢氧化钠溶液 $c(NaOH)=1mol \cdot L^{-1}$
5	+1.38	+1.7	+1.9	+2.3	+2.4	+3.6
6	+1.38	+1.7	+1.9	+2.2	+2.3	+3.4
7	+1.36	+1.6	+1.8	+2.2	+2.2	+3.2
8	+1.33	+1.6	+1.8	+2.1	+2.2	+3.0
9	+1.29	+1.5	+1.7	+2.0	+2.1	+2.7
10	+1.23	+1.5	+1.6	+1.9	+2.0	+2.5
11	+1.17	+1.4	+1.5	+1.8	+1.8	+2.3
12	+1.10	+1.3	+1.4	+1.6	+1.7	+2.0
13	+0.99	+1.1	+1.2	+1.4	+1.5	+1.8
14	+0.88	+1.0	+1.1	+1.2	+1.3	+1.6
15	+0.77	+0.9	+0.9	+1.0	+1.1	+1.3
16	+0.64	+0.7	+0.8	+0.8	+0.9	+1.1
17	+0.50	+0.6	+0.6	+0.6	+0.7	+0.8
18	+0.34	+0.4	+0.4	+0.4	+0.5	+0.6
19	+0.18	+0.2	+0.2	+0.2	+0.2	+0.3
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	−0.18	−0.2	−0.2	−0.2	−0.2	−0.3
22	−0.38	−0.4	−0.4	−0.5	−0.5	−0.6
23	−0.58	−0.6	−0.7	−0.7	−0.8	−0.9
24	−0.80	−0.9	−0.9	−1.0	−1.0	−1.2
25	−1.03	−1.1	−1.1	−1.2	−1.3	−1.5
26	−1.26	−1.4	−1.4	−1.4	−1.5	−1.8
27	−1.51	−1.7	−1.7	−1.7	−1.8	−2.1
28	−1.76	−2.0	−2.0	−2.0	−2.1	−2.4
29	−2.01	−2.3	−2.3	−2.3	−2.4	−2.8
30	−2.30	−2.5	−2.5	−2.6	−2.8	−3.2
31	−2.58	−2.7	−2.7	−2.9	−3.1	−3.5

续表

补正值 标准溶液种类 / 温度 t/℃	水和 0.05mol·L⁻¹以下的各种水溶液	0.1mol·L⁻¹和 0.2mol·L⁻¹各种水溶液	盐酸溶液 c(HCl)=0.5mol·L⁻¹	盐酸溶液 c(HCl)=1mol·L⁻¹	硫酸溶液 $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$=0.5mol·L⁻¹ 氢氧化钠溶液 c(NaOH)=0.5mol·L⁻¹	硫酸溶液 $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$=1mol·L⁻¹ 氢氧化钠溶液 c(NaOH)=1mol·L⁻¹
32	−2.86	−3.0	−3.0	−3.2	−3.4	−3.9
33	−3.04	−3.2	−3.3	−3.5	−3.7	−4.2
34	−3.47	−3.7	−3.6	−3.8	−4.1	−4.6
35	−3.78	−4.0	−4.0	−4.1	−4.4	−5.0
36	−4.10	−4.3	−4.3	−4.4	−4.7	−5.3

注：1. 本表数值是以 20℃为标准温度以实测法测出；

2. 表中带有“+”、“−”号的数值是以 20℃为分界。室温低于 20℃的补正值均为“+”，高于 20℃的补正值均为“−”；

3. 本表的用法：如 1L 硫酸溶液$\left[c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)=1mol\cdot L^{-1}\right]$由 25℃换算为 20℃时，其体积修正值为−1.5ml，故 40.00ml 换算为 20℃时的体积为：$V_{20}=40.00-\frac{1.5}{1000}\times 40.00\doteq 39.94ml$。

第五节 缓冲溶液

本节列举各种 pH 值的缓冲溶液[4]。在缓冲溶液一览表(表 3-11)中，列出各种缓冲溶液的名称，缓冲体系组成，基本溶液的浓度(配制方法)及适用的 pH 范围。具体的配制方法分别参见本节所列的表 3-12 至表 3-30。

表 3-11 缓冲溶液一览表

名称	A 液	B 液	pH 范围	配制方法
pH 值测定标准缓冲溶液				见表 3-12
指示剂 pH 变色域测定缓冲溶液	1. 0.1mol·L⁻¹盐酸	0.2mol·L⁻¹氯化钾 (14.90gKClL⁻¹)	1.1～2.2	见表 3-13
	2. 0.1mol·L⁻¹盐酸	0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾 (40.8g$KHC_8H_4O_4$L⁻¹)	2.2～3.8	
	3. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠	0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾	4.0～6.2	
	4. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠	0.2mol·L⁻¹磷酸二氢钾 (27.2gKH_2PO_4L⁻¹)	5.8～8.0	
	5. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠	0.2mol·L⁻¹硼酸-氯化钾 (12.4gHBO_3+14.9gKClL⁻¹)	7.8～10.0	
	6. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠	0.1mol·L⁻¹甘氨酸-氯化钠 (7.51g$C_2H_5O_2N$+5.35g $NaCl$L⁻¹)	10.0～13.0	
Clark-Lubs 缓冲溶液	1. 0.2mol·L⁻¹氯化钾 (14.9gKClL⁻¹)	0.2mol·L⁻¹盐酸	1.0～2.2	见表 3-14
	2. 0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾 (40.8g$KHC_8H_4O_4$L⁻¹)	0.2mol·L⁻¹盐酸	2.2～3.8	
	3. 0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾	0.2mol·L⁻¹氢氧化钠	4.0～6.2	
	4. 0.2mol·L⁻¹磷酸二氢钾 (27.2gKH_2PO_4L⁻¹)	0.2mol·L⁻¹氢氧化钠	5.8～8.0	
	5. 0.2mol·L⁻¹硼酸 0.2mol·L⁻¹氯化钾 (12.4gH_3BO_3+14.9gKClL⁻¹)	0.2mol·L⁻¹氢氧化钠	7.8～10.0	

续表

名　称	A　液	B　液	pH 范围	配制方法
Sørensen 缓冲溶液	1. 0.1mol・L^{-1}甘氨酸-0.1mol・L^{-1}氯化钠 (7.51g$C_2H_5O_2N$+5.85gNaClL^{-1})	0.1mol・L^{-1}盐酸	1.1～4.6	见表 3-15
	2. 0.1mol・L^{-1}甘氨酸-0.1mol・L^{-1}氯化钠	0.1mol・L^{-1}氢氧化钠	8.6～13.0	
	3. 0.1mol・L^{-1}柠檬酸钠 (21.0g$C_6H_8O_7$・H_2O+200ml1mol・L^{-1}氢氧化钠 L^{-1})	0.1mol・L^{-1}盐酸	1.1～4.9	
	4. 0.1mol・L^{-1}柠檬酸钠	0.1mol・L^{-1}氢氧化钠	5.0～6.7	
	5. 0.2mol・L^{-1}硼砂 (76.4g$Na_2B_4O_7$・10$H_2O$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}盐酸	7.6～9.2	
	6. 0.2mol・L^{-1}硼砂	0.1mol・L^{-1}氢氧化钠	9.3～12.4	
	7. 1/15mol・L^{-1}磷酸二氢钾 (9.07g$KH_2PO_4$$L^{-1}$)	1/15mol・L^{-1}磷酸二氢钠 (11.9gNa_2HPO_4・2$H_2O$$L^{-1}$)	5.3～8.0	
Kolthoff 缓冲溶液	1. 0.1mol・L^{-1}柠檬酸二氢钾 (23.0g$KC_6H_7O_7$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}柠檬酸 (21.0g$C_5H_8O_7$・$H_2O$$L^{-1}$)	2.2～3.6	见表 3-16
	2. 同上	0.1mol・L^{-1}盐酸	2.2～3.6	
	3. 同上	0.1mol・L^{-1}氢氧化钠	3.8～6.0	
	4. 0.05mol・L^{-1}丁二酸 (5.90g$C_4H_6O_4$$L^{-1}$)	0.05mol・L^{-1}硼砂 (19.1g$Na_2B_4O_7$・10$H_2O$$L^{-1}$)	3.0～5.8	
	5. 0.1mol・L^{-1}柠檬酸二氢钾 (23.0g$KC_6H_7O_7$$L^{-1}$)	同上	3.8～6.0	
	6. 0.1mol・L^{-1}磷酸二氢钾 (13.6g$KH_2PO_4$$L^{-1}$)	同上	5.8～9.2	
	7. 0.05mol・L^{-1}硼砂 (19.1g$Na_2B_4O_7$・10$H_2O$$L^{-1}$)	0.05mol・L^{-1}碳酸钠 (5.30g$Na_2CO_3$$L^{-1}$)	9.2～11.0	
	8. 0.1mol・L^{-1}盐酸	0.1mol・L^{-1}碳酸钠 (10.6g$Na_2CO_3$$L^{-1}$)	10.2～11.2	
	9. 0.1mol・L^{-1}磷酸二氢钠 (17.8gNa_2HPO_4・2$H_2O$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}氢氧化钠	11.0～12.0	
Michaelis 缓冲溶液	1. 0.1mol・L^{-1}酒石酸 (7.50g$C_4H_6O_5$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}酒石酸钠 (7.50g$C_4H_6O_6$+100ml 1mol・L^{-1}氢氧化钠)	1.4～4.5	见表 3-17
	2. 0.1mol・L^{-1}乳酸 (9.01g$C_3H_6O_3$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}乳酸钠 (9.01g$C_3H_6O_3$+100ml1mol・L^{-1}氢氧化钠)	2.3～5.3	
	3. 0.1mol・L^{-1}乙酸 (6.01g$C_2H_4O_2$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}乙酸钠 (13.6g$C_2H_3O_2Na$・3$H_2O$$L^{-1}$)	3.2～6.2	
	4. 1/30mol・L^{-1}磷酸二氢钾 (4.54g$KH_2PO_4$$L^{-1}$)	1/30mol・L^{-1}磷酸二氢钠 (5.94gNa_2HPO_4・2$H_2O$$L^{-1}$)	5.2～8.3	
	5. 0.1mol・L^{-1}氯化铵 (5.35g$NH_4Cl$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}氨水	8.0～11.0	
	6. 1/7mol・L^{-1}二乙基巴比妥酸钠 + 1/7mol・L^{-1}乙酸钠 (29.5g$C_8H_{11}O_3N_2Na$+19.6g$C_2H_3O_2Na$・3$H_2O$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}盐酸	2.6～9.2	
	7. 0.1mol・L^{-1}二乙基巴比妥酸钠 (20.6g$C_8H_{11}O_3N_2Na$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}盐酸	6.8～9.6	
	8. 0.2mol・L^{-1}二甲基氨基乙酸钠 (25.0g$C_4H_8O_2NNa$$L^{-1}$)	0.1mol・L^{-1}盐酸	8.6～10.6	

续表

名　称	A　液	B　液	pH 范围	配制方法
Atkins-Pantin 缓冲溶液	0.2mol·L^{-1}硼酸-0.2mol·L^{-1}氯化钾 ($12.4gH_3BO_3+14.9gKClL^{-1}$	0.2mol·L^{-1}碳酸钠 ($21.2gNa_2CO_3L^{-1}$)	7.4～11.0	见表 3-18
Palitzsch 缓冲溶液	0.05mol·L^{-1}硼砂 ($19.1gNa_2B_4O_7\cdot10H_2OL^{-1}$)	0.2mol·L^{-1}硼酸+0.05mol·L^{-1}氯化钠 ($12.4gH_3BO_3+2.92gNaClL^{-1}$)	6.8～9.2	见表 3-19
McIlvaine 缓冲溶液	0.2mol·L^{-1}磷酸二氢钠 ($35.6gNa_2HPO_4\cdot2H_2OL^{-1}$)	0.1mol·L^{-1}柠檬酸 ($21.0gC_6H_8O_7\cdot H_2OL^{-1}$)	2.2～8.0	见表 3-20
Menzel 缓冲溶液	1. 0.2mol·L^{-1}碳酸钠 ($21.2gNa_2CO_3L^{-1}$)	0.2mol·L^{-1}碳酸氢钠 ($16.8gNaHCO_3L^{-1}$)	9.5～11.5	见表 3-21
	2. 0.1mol·L^{-1}碳酸钠	0.1mol·L^{-1}碳酸氢钠	9.8～10.2	
	3. 0.05mol·L^{-1}碳酸钠	0.05mol·L^{-1}碳酸氢钠	8.9～11.4	
	4. 0.02mol·L^{-1}碳酸钠	0.02mol·L^{-1}碳酸氢钠	9.5～11.2	
Walpole 缓冲溶液	1. 1mol·L^{-1}乙酸钠 ($136gCH_3COONa\cdot3H_2OL^{-1}$)	1mol·L^{-1}盐酸	0.65～5.2	见表 3-22
	2. 0.2mol·L^{-1}乙酸 ($12gCH_3COOHL^{-1}$)	0.2mol·L^{-1}乙酸钠 ($27.2gCH_3COONa\cdot3H_2OL^{-1}$)	3.6～5.6	
Hasting-Serdroy 缓冲溶液	1/15mol·L^{-1}磷酸二氢钠 ($11.9gNa_2HPO_4\cdot2H_2OL^{-1}$)	1/15mol·L^{-1}磷酸二氢钾 ($9.08gKH_2PO_4L^{-1}$)	6.8～8.0	见表 3-23
Britton-Robinson 广范缓冲溶液	1. 1/25mol·L^{-1}混合酸 〔$3.92gH_3PO_4$(2.71ml85%正磷酸)+2.40g 乙酸(2.36ml 冰乙酸)-$2.47gH_3BO_3$〕L^{-1}	0.2mol·L^{-1}氢氧化钠 ($8.0gNaOHL^{-1}$)	1.8～12.0,	见表 3-24
	2. 1/25mol·L^{-1}混合酸 〔8.40g 柠檬酸(一水)+5.45g KH_2PO_4+2.47g H_3BO_3+7.37g 二乙基巴比妥酸+1.46g 盐酸(3.36ml36.5%盐酸)〕L^{-1}	0.2mol·L^{-1}氢氧化钠 ($8.0gNaOHL^{-1}$)	2.4～12.2	
Gomori 缓冲溶液	1. 0.2mol·L^{-1}2,4,6 三甲基吡啶 ($26.4ml(CH_3)_3C_5H_2NL^{-1}$)	0.1mol·L^{-1}盐酸	6.4～8.3	见表 3-25
	2. 0.2mol·L^{-1}2-氨基-2-羟甲基-(1,3)-丙二醇 [$24.3g(CH_2OH)_3CNH_2L^{-1}$]	0.1mol·L^{-1}盐酸	7.2～9.1	
	3. 0.2mol·L^{-1}2-氨基-2-甲基(1,3)-丙二醇 ($21g(CH_2OH)_2(CH_3)CNH_2L^{-1}$)	0.1mol·L^{-1}盐酸	7.8～9.7	
等渗缓冲溶液	1. 2.33%磷酸二氢钠	1.44%碳酸钠	6.1～7.6	见表 3-26
	2. 0.263mol·L^{-1}柠檬酸 ($55.3gC_6H_8O_7\cdot H_2OL^{-1}$)	0.123mol·L^{-1}磷酸二氢钠 ($21.9gNa_2HPO_4\cdot2H_2OL^{-1}$)	2.1～6.3	
	3. 1.77%磷酸二氢钠	1.77%磷酸氢二钠(二水盐)	6.0～7.6	
甲酸-甲酸钠缓冲溶液	0.1mol·L^{-1}氢氧化钠	0.1mol·L^{-1}甲酸	2.6～4.8	见表 3-27
N-乙基吗啉-盐酸缓冲溶液	0.2mol·L^{-1}*N*-乙基吗啉 ($23.03gL^{-1}$)	1mol·L^{-1}盐酸	7.0～8.2	见表 3-28
挥发性的缓冲溶液			1.9～9.3	见表 3-29
普通缓冲溶液			1～13	见表 3-30

表 3-12 pH 值测定用标准缓冲溶液

名 称	标准缓冲溶液制备①	不同温度(℃)时各标准缓冲溶液的 pH 值								
		0	5	10	15	20	25	30	35	40
草酸盐标准缓冲溶液	$c[KH_3(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O]$ 为 0.05mol·L^{-1}。称取 12.71g 四草酸钾 $[KH_3(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O]$ 溶于无二氧化碳的水，稀释至1 000ml	1.67	1.67	1.67	1.67	1.68	1.68	1.69	1.69	1.69
酒石酸盐标准缓冲溶液	在 25℃时，用无二氧化碳的水溶解外消旋的酒石酸氢钾($KHC_4H_4O_6$)，并剧烈振摇至成饱和溶液	—	—	—	—	—	3.56	3.55	3.55	3.55
苯二甲酸盐标准缓冲溶液	$c(C_6H_4CO_2HCO_2K)$ 为 0.05mol·L^{-1}。称取 10.21g 于 110℃干燥 1h 的苯二甲酸氢钾($C_6H_4CO_2HCO_2K$)，溶于无二氧化碳的水，稀释至 1 000ml	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.01	4.01	4.02	4.04
磷酸盐标准缓冲溶液	称取 3.40g 磷酸二氢钾(KH_2PO_4)和 3.55g 磷酸氢二钠(Na_2HPO_4)，溶于无二氧化碳的水，稀释至 1 000ml。磷酸二氢钾和磷酸氢二钠需预先在 120±10℃干燥 2h。此溶液的浓度 $c(KH_2PO_4)$ 为 0.025 mol·L^{-1}，$c(Na_2HPO_4)$为0.025mol·L^{-1}	6.98	6.95	6.92	6.90	6.88	6.86	6.85	6.84	6.84
硼酸盐标准缓冲溶液	$c(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O)$ 为 0.01mol·L^{-1}。称取 3.81g 四硼酸钠($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)，溶于无二氧化碳的水，稀释至 1 000ml。存放时应防止空气中二氧化碳进入	9.46	9.40	9.33	9.27	9.22	9.18	9.14	9.10	9.06
氢氧化钙标准缓冲溶液	于 25℃，用无二氧化碳的水制备氢氧化钙的饱和溶液。氢氧化钙溶液的浓度 $c\left[\frac{1}{2}Ca(OH)_2\right]$ 应在(0.0400～0.0412) mol·L^{-1}。氢氧化钙溶液的浓度可以酚红为指示剂，用盐酸标准溶液[$c(HCl)$ = 0.1mol·L^{-1}]滴定测出。存放时应防止空气中二氧化碳进入。一旦出现混浊，应弃去重配	13.42	13.21	13.00	12.81	12.63	12.45	12.30	12.14	11.98

① 上述标准缓冲溶液必须用 pH 基准试剂配制，见中华人民共和国国家标准 GB 9724—88，化学试剂 pH 测定通则。

表 3-13 指示剂 pH 变色域测定用缓冲溶液

(1)盐酸-氯化钾缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}盐酸，ml	94.56	75.10	59.68	47.40	37.64	29.90	23.76	18.86	14.98	11.90	9.46	7.52
B. 0.2mol·L^{-1}氯化钾，ml	2.70	12.45	20.15	26.30	31.20	35.00	38.10	40.60	42.50	44.05	45.30	46.25
水	加至 100ml											
pH	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2

(2)邻苯二甲酸氢钾-盐酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}盐酸，ml	46.60	37.60	33.00	26.50	20.40	14.80	9.95	6.00	2.65
B. 0.2mol·L^{-1}邻苯二甲酸氢钾，ml	25								
水	加至 100ml								
pH	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8

(3)邻苯二甲酸氢钾-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠，ml	0.40	3.65	7.35	12.00	17.50	23.65	29.75	35.25	39.70	43.10	45.40	47.00
B. 0.2mol·L^{-1}邻苯二甲酸氢钾，ml	25											
水	加至 100ml											
pH	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2

续表

(4)磷酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠,ml	3.66	5.64	8.55	12.60	17.74	23.60	29.54	34.90	39.34	42.74	45.17	46.85
B. 0.2mol·L⁻¹磷酸二氢钾,ml	25											
水	加至100ml											
pH	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
(5)硼酸-氯化钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠,ml	2.65	4.00	5.90	8.55	12.00	16.40	21.40	26.70	32.00	36.85	40.80	43.90
B. 0.2mol·L⁻¹硼酸-氯化钾,ml	25											
水	加至100ml											
pH	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0

(6)甘氨酸-氯化钠-氢氧化钠缓冲溶液										
A. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠,ml	37.50	41.00	44.00	46.00	47.50	48.80	49.80	50.20	51.00	52.10
B. 0.1mol·L⁻¹甘氨酸-氯化钠,ml	62.50	59.00	56.00	54.00	52.50	51.20	50.20	49.80	49.00	47.90
pH	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8

A. 0.1mol·L⁻¹氢氧化钠,ml	54.00	56.00	60.30	67.50	77.50	92.50
B. 0.1mol·L⁻¹甘氨酸-氯化钠,ml	46.00	44.00	39.70	32.50	22.50	7.50
pH	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0

表 3-14 Clark-Lubs缓冲溶液的配制

(1)氯化钾-盐酸缓冲溶液							
A. 0.2mol·L⁻¹氯化钾,ml	50	50	50	50	50	50	50
B. 0.2mol·L⁻¹盐酸,ml	97.0	64.5	41.5	26.3	16.6	10.6	6.7
水,ml	53.0	85.5	108.5	123.7	133.4	139.4	143.3
pH(20℃)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2

(2)邻苯二甲酸氢钾-盐酸缓冲溶液									
A. 0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 0.2mol·L⁻¹盐酸,ml	46.70	39.60	32.95	26.42	20.32	14.70	9.90	5.97	2.63
水,ml	103.30	110.40	117.05	123.58	129.68	135.30	110.10	144.03	147.37
pH(20℃)	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8

(3)邻苯二甲酸氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.2mol·L⁻¹邻苯二甲酸氢钾,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 0.2mol·L⁻¹氢氧化钠,ml	0.40	3.70	7.50	12.15	17.70	23.85	29.95	35.45	39.85	43.00	45.45	47.00
水,ml	149.60	146.30	142.50	137.85	132.20	126.15	120.05	114.55	110.15	107.00	104.55	103.00
pH(20℃)	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2
(4)磷酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液												
A. 0.2mol·L⁻¹磷酸二氢钾,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

续表

B. 0.2mol·L^{-1}氢氧化钠,ml	3.72	5.70	8.60	12.60	17.80	23.65	29.63	35.00	39.50	42.80	45.20	46.80
水,ml	146.28	144.30	141.40	137.40	132.20	126.35	120.37	115.00	110.50	107.20	104.80	103.20
pH(20℃)	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0

(5)硼酸+氯化钾-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.2mol·L^{-1}氯化钾,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 0.2mol·L^{-1}氢氧化钠,ml	2.61	3.97	5.90	8.50	12.00	16.30	21.30	26.70	32.00	36.85	40.80	43.90
水,ml	107.39	106.03	104.10	101.50	138.00	133.70	128.70	123.30	118.00	113.15	109.20	106.10
pH(20℃)	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0

表 3-15　Sφrensen 缓冲溶液的配制

(1)甘氨酸+氯化钠-盐酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}甘氨酸+0.1mol·L^{-1}氯化钠,ml	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.5
B. 0.2mol·L^{-1}盐酸,ml	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5
pH(18℃)	1.04	1.15	1.25	1.42	1.65	1.93	2.28	2.61	2.92	3.34	4.68

(2)甘氨酸+氯化钠-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}甘氨酸+0.1mol·L^{-1}氯化钠,ml		9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.5	5.1	5.0	4.9	4.5	4.0	3.0	2.0	1.0
B. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠,ml		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.9	5.0	5.1	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0
pH	10℃	8.75	9.10	9.45	9.90	10.34	10.68	11.29	11.35	11.80	12.34	12.65	12.92	13.12	13.23
	20℃	8.53	8.88	9.31	9.66	10.09	10.42	11.01	11.25	11.51	12.04	12.33	12.60	12.79	12.90
	30℃	8.32	8.67	9.08	9.42	9.83	10.17	10.74	10.97	11.22	11.74	12.03	12.29	12.47	12.57
	40℃	8.12	8.45	8.85	9.18	9.58	9.91	10.46	10.70	10.93	11.44	12.72	11.98	12.15	12.25

(3)柠檬酸钠-盐酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸钠,ml	0.0	1.0	2.0	3.0	3.33	4.0	4.5	4.75	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	10.0	9.0	8.0	7.0	6.67	6.0	5.5	5.25	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5	0.0
pH(18℃)	1.04	1.17	1.42	1.93	2.27	2.97	3.36	3.53	3.69	3.95	4.16	4.45	4.65	4.83	4.89	4.96

(4)柠檬酸钠-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸钠,ml		10.0	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.5	5.25
B. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠,ml		0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	4.75
pH	10℃	4.93	4.99	5.08	5.27	5.53	5.94	6.30	6.65
	20℃	4.96	5.02	5.11	5.31	5.57	5.98	6.34	6.69
	30℃	5.00	5.06	5.15	5.35	5.60	6.01	6.37	6.72
	40℃	5.04	5.10	5.19	5.39	5.64	6.04	6.41	6.76

(5)硼砂-盐酸缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}硼砂,ml	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.75	5.5	5.25
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.25	4.5	4.75

续表

pH	10℃	9.30	9.22	9.14	9.06	8.96	8.84	8.72	8.54	8.32	8.17	7.96	7.64
	20℃	9.23	9.15	9.07	8.99	8.89	8.79	8.67	8.49	8.27	8.13	7.93	7.61
	30℃	9.15	9.08	9.01	8.92	8.83	8.72	8.61	8.44	8.23	8.09	7.89	7.58
	40℃	9.08	9.01	8.94	8.86	8.77	8.76	8.56	8.40	8.29	8.06	7.86	7.55

(6)硼砂-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}硼砂,ml		10	9	8	7	6	5	4
B. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠,ml		0	1	2	3	4	5	6
pH	10℃	9.30	9.42	9.57	9.76	10.06	11.24	12.64
	20℃	9.23	9.35	9.48	9.66	9.94	11.04	12.32
	30℃	9.15	9.26	9.39	9.55	9.80	10.83	12.00
	40℃	9.08	9.18	9.30	9.44	9.67	10.61	11.68

(7)磷酸二氢钾-磷酸氢二钠缓冲溶液

A. 1/15mol·L^{-1}磷酸二氢钾,ml	10.0	9.75	9.5	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0.5	0.0
B. 1/15mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	0.0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	9.5	10.0
pH(18℃)	(4.49)	5.29	5.59	5.91	6.24	6.47	6.64	6.81	6.98	7.17	7.38	7.73	8.04	(9.18)

表 3-16 Kolthoff 缓冲溶液的配制

(1)柠檬酸二氢钾-柠檬酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸二氢钾,ml	0.95	1.97	3.00	4.22	5.55	7.0	8.30	9.59
B. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸,ml	9.05	8.03	7.00	5.78	4.45	3.0	1.70	0.41
pH(18℃)	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6

(2)柠檬酸二氢钾-盐酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸二氢钾,ml	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	24.85	21.70	18.40	15.10	11.80	8.60	5.35	2.10
水,ml	0.15	3.30	6.60	9.90	13.20	16.40	19.65	22.90
pH(18℃)	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6

(3)柠檬酸二氢钾-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸二氢钾,ml	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.2mol·L^{-1}氢氧化钠,ml	1.0	4.50	8.15	11.85	15.75	19.60	23.35	27.10	30.50	34.00	37.2	40.6
水,ml	24.0	20.50	16.85	13.15	9.25	5.40	1.65	0	0	0	0	0
pH(18℃)	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0

(4)丁二酸-硼砂缓冲溶液

A. 0.05mol·L^{-1}丁二酸,ml	9.86	9.65	9.40	9.05	8.63	8.22	7.78	7.38	7.00	6.65	6.32	6.05	5.79	5.57	5.40
B. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	0.14	0.35	0.60	0.95	1.37	1.78	2.22	2.62	3.00	3.35	3.68	3.95	4.21	4.43	4.60
pH(18℃)	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8

(5)柠檬酸二氢钾-硼砂缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸二氢钾,ml	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
B. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	0.65	4.4	8.6	13.5	18.0	22.8	27.4	31.2	34.9	38.3	41.7	44.1

续表

水,ml	24.35	20.6	16.4	11.5	7.0	2.2	0	0	0	0	0	0
pH(18℃)	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0

(6)磷酸二氢钾-硼砂缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}磷酸二氢钾,ml	9.21	8.77	8.30	7.78	7.22	6.67	6.23	5.81	5.50	5.17	4.92	4.65	4.30	3.87	3.40	2.76	1.76	0.50
B. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	0.79	1.23	1.70	2.22	2.78	3.33	3.77	4.19	4.50	4.83	5.08	5.35	5.70	6.13	6.60	7.24	8.25	9.50
pH(18℃)	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2

(7)硼砂-碳酸钠缓冲溶液

A. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	100	64.3	44.5	33.3	24.6	17.85	13.1	8.5	5.25	2.7
B. 0.05mol·L^{-1}碳酸钠,ml	0.0	35.7	55.5	66.7	75.4	82.15	86.9	91.5	94.75	97.3
pH(18℃)	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0

(8)盐酸-碳酸钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	20.0	15.0	10.0	5.0	0.0
B. 0.1mol·L^{-1}碳酸钠,ml	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
pH(18℃)	10.17	10.32	10.51	10.86	11.24

(9)磷酸氢二钠-氢氧化钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
B. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠,ml	8.26	12.00	17.34	24.50	33.3	43.2
水,ml	41.74	38.00	32.66	25.50	16.7	6.8
pH(18℃)	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0

表 3-17 Michaelis 缓冲溶液的配制

(1)酒石酸-酒石酸钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}酒石酸,ml	32	16	8	4	2	1	1	1	1	1	1
B. 0.1mol·L^{-1}酒石酸钠,ml	1	1	1	1	1	1	2	4	8	16	32
pH	1.4	1.7	2.0	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.8	4.2	4.5

(2)乳酸-乳酸钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}乳酸,ml	32	16	8	4	2	1	1	1	1	1	1
B. 0.1mol·L^{-1}乳酸钠,ml	1	1	1	1	1	1	2	4	8	16	32
pH	2.3	2.61	2.9	3.2	3.5	3.8	4.17	4.45	4.7	5.0	5.3

(3)乙酸-乙酸钠缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}乙酸,ml	32	16	8	4	2	1	1	1	1	1	1
B. 0.1mol·L^{-1}乙酸钠,ml	1	1	1	1	1	1	2	4	8	16	32
pH	3.19	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.6	5.9	6.22

(4)磷酸二氢钾-磷酸氢二钠缓冲溶液

A. 1/30mol·L^{-1}磷酸二氢钾,ml	32	16	8	4	2	1	1	1	1	1	1
B. 1/30mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	1	1	1	1	1	1	2	4	8	16	32
pH	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.3	7.7	8.0	8.3

(5)氯化铵-氨水缓冲溶液

续表

A. 0.1mol·L^{-1}氯化氨,ml	32	16	8	4	2	1	1	1	1	1	1
B. 0.1mol·L^{-1}氨水,ml	1	1	1	1	1	1	2	4	8	16	32
pH	8.0	8.3	8.58	8.89	9.1	9.5	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0

(6)二乙基巴比妥酸钠+乙酸钠+盐酸缓冲溶液

A. 1/7mol·L^{-1}二乙基巴比妥酸钠+1/7mol·L^{-1}乙酸钠,ml	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8.5%氯化钠,ml	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	0	0.25	0.5	0.75	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	6.0
水,ml	18.0	17.75	17.50	17.25	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0	12.5	12.0
pH(25℃)	(9.64)	9.16	8.90	8.68	8.55	8.18	7.90	7.66	7.42	7.25	7.00

A. 1/7mol·L^{-1}二乙基巴比妥酸钠+1/7mol·L^{-1}乙酸钠,ml	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8.5%氯化钠,ml	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	6.5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
水,ml	11.5	11.1	10	9	8	7	6	5	4	3	2
pH(25℃)	6.75	6.12	5.32	4.93	4.66	4.33	4.13	3.88	3.62	3.20	2.62

(7)二乙基巴比妥酸钠-盐酸缓冲溶液

A. 0.1mol·L^{-1}二乙基巴比妥酸钠,ml	5.10	5.14	5.22	5.36	5.54	5.81	6.15	6.62	7.16
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	4.90	4.86	4.78	4.64	4.46	4.19	3.85	3.38	2.84
pH(25℃)	(6.40)	(6.60)	6.80	7.00	7.20	7.40	7.60	7.80	8,00

A. 0.1mol·L^{-1}二乙基巴比妥酸钠,ml	7.69	8.23	8.71	9.08	9.36	9.52	9.74	9.85	9.93
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	2.31	1.77	1.29	0.92	0.64	0.48	0.26	0.15	0.07
pH(25℃)	8.20	8.40	8.60	8.80	9.00	9.20	9.40	9.60	(9.80)

(8)二甲基氨基乙酸钠-盐酸缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}二甲基氨基乙酸钠,ml	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
水,ml	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3	9.2	9.1	9.0
pH(30℃)	10.58	10.42	10.28	10.16	10.05	9.96	9.87	9.79	9.70

A. 0.2mol·L^{-1}二甲基氨基乙酸钠,ml	10	10	10	10	10	10	10	10
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
水,ml	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2
pH(30℃)	9.60	9.50	9.39	9.28	9.17	9.05	8.85	8.60

表 3-18 Atkins-Pantin 缓冲溶液的配制

硼酸+氯化钾-碳酸钠缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.2mol·L^{-1}氯化钾,ml	95.0	93.8	91.7	90.0	88.8	85.0	80.7	80.0	75.7	70.0
B. 0.2mol·L^{-1}碳酸钠,ml	5.0	6.2	8.3	10.0	11.2	15.0	19.3	20.0	24.3	30.0
水,ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

续表

pH(16℃)	7.44	7.6	7.8	7.93	8.0	8.2	8.4	8.43	8.6	8.78
A. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.2mol·L^{-1}氯化钾,ml	69.5	63.0	60.0	56.4	50.0	49.7	45.0	42.9	40.0	36.0
B. 0.2mol·L^{-1}碳酸钠,ml	30.5	37.0	40.0	43.6	50.0	50.3	55.0	57.1	60.0	64.0
水,ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
pH(16℃)	8.8	9.0	9.09	9.2	9.39	9.40	9.53	9.6	9.69	9.8
A. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.2mol·L^{-1}氯化钾,ml	30.0	29.1	22.1	20.0	15.4	10.0	9.8	5.7	5.0	3.5
B. 0.2mol·L^{-1}碳酸钠,ml	70.0	70.9	77.9	80.0	84.6	90.0	90.2	94.3	95.0	96.5
水,ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
pH(16℃)	9.98	10.0	10.2	10.25	10.40	10.59	10.6	10.8	10.85	11.0

表 3-19 Palitzsch 缓冲溶液的配制

硼酸-氯化钠-硼砂缓冲溶液

A. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	0.3	0.6	1.0	1.5	2.0	2.3	2.5	3.0	3.5
B. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.05mol·L^{-1}氯化钠,ml	9.7	9.4	9.0	8.5	8.0	7.7	7.5	7.0	6.5
pH(18℃)	6.77	7.09	7.36	7.60	7.78	7.88	7.94	8.08	8.20
A. 0.05mol·L^{-1}硼砂,ml	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
B. 0.2mol·L^{-1}硼酸+0.05mol·L^{-1}氯化钠,ml	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.0	2.0	1.0	0
pH(18℃)	8.31	8.41	8.51	8.60	8.69	8.84	8.98	9.11	9.24

表 3-20 McIlvaine 缓冲溶液的配制

磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	0.4	1.24	2.18	3.17	4.11	4.94	5.70	6.44	7.10	7.71
B. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸,ml	19.60	18.76	17.82	16.83	15.89	15.06	14.30	13.56	12.90	12.29
pH	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
A. 0.2mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	8.28	8.82	9.35	9.86	10.30	10.72	11.15	11.60	12.09	12.63
B. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸,ml	12.72	11.18	10.65	10.14	9.70	9.28	8.85	8.40	7.91	7.37
pH	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
A. 0.2mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml	13.22	13.85	14.55	15.45	16.47	17.39	18.17	18.73	19.15	19.45
B. 0.1mol·L^{-1}柠檬酸,ml	6.78	6.15	5.45	4.55	3.53	2.61	1.83	1.27	0.85	0.55
pH	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0

表 3-21 Menzel 缓冲溶液的配制

(1)碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液							
A. 0.2mol·L^{-1}碳酸钠,ml	2.5	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	10.0
B. 0.2mol·L^{-1}碳酸氢钠,ml	7.5	6.0	5.0	4.0	2.5	1.0	0
pH(18℃)	9.47	9.73	9.90	10.08	10.35	10.77	11.54
(2)碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液							

续表

A. 0.1mol·L^{-1}碳酸钠,ml	4.0	5.0	6.25
B. 0.1mol·L^{-1}碳酸氢钠,ml	6.0	5.0	3.75
pH(18℃)	9.83	9.97	10.16

(3)碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液

A. 0.05mol·L^{-1}碳酸钠,ml	2.0	3.3	4.0	5.0	6.7	8.0	10.0
B. 0.05mol·L^{-1}碳酸氢钠,ml	8.0	6.7	6.0	5.0	3.3	2.0	0
pH(18℃)	9.50	9.79	9.94	10.10	10.33	10.54	11.23

(4)碳酸钠-碳酸氢钠缓冲溶液

A. 0.02mol·L^{-1}碳酸钠,ml	1.0	2.5	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	10.0
B. 0.02mol·L^{-1}碳酸氢钠,ml	9.0	7.5	6.0	5.0	4.0	2.5	1.0	0
pH(18℃)	8.94	9.37	9.62	9.80	9.95	10.18	10.58	11.37

表 3-22 Walpole 缓冲溶液的配制

(1)盐酸-乙酸钠缓冲溶液

A. 1mol·L^{-1}乙酸钠,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 1mol·L^{-1}盐酸,ml	100	90.0	80.0	70.0	65.0	60.0	55.0	53.5	52.5	51.0	50.0	49.75
水,ml	100	110.0	120.0	130.0	135.0	140.0	145.0	146.5	147.5	149.0	150.0	150.25
pH	0.65	0.75	0.91	1.09	1.24	1.42	1.71	1.85	1.99	2.32	2.64	2.72
A. 1mol·L^{-1}乙酸钠,ml	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
B. 1mol·L^{-1}盐酸,ml	48.5	47.5	46.25	45.0	42.5	40.0	35.0	30.0	25.0	20.0	15.0	10.0
水,ml	151.5	152.5	153.75	155.0	157.5	160.0	165.0	170.0	175.0	180.0	185.0	190.0
pH	3.09	3.29	3.49	3.61	3.79	3.95	4.19	4.39	4.58	4.76	4.95	5.20

(2)乙酸-乙酸钠缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1}乙酸,ml	18.5	17.6	16.4	14.7	12.6	10.2	8.0	5.9	4.2	2.9	1.9
B. 0.2mol·L^{-1}乙酸钠,ml	1.5	2.4	3.6	5.3	7.4	9.8	2.0	14.1	15.8	17.1	18.1
pH(18℃)	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6

表 3-23 Hasting-Sendroy 缓冲溶液的配制

磷酸氢二钠-磷酸二氢钾缓冲溶液

A. 1/15mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml		49.6	52.5	55.4	58.2	61.1	63.9	66.6	69.2	72.0	74.4	76.8	78.9
B. 1/15mol·L^{-1}磷酸二氢钾,ml		50.4	47.5	44.6	41.8	38.9	36.1	33.4	30.8	28.0	25.6	23.2	21.1
pH	20℃	6.809	6.862	6.909	6.958	7.005	7.057	7.103	7.154	7.212	7.261	7.313	7.364
	30℃	6.781	6.829	6.885	6.924	6.979	7.028	7.076	7.128	7.181	7.230	7.288	7.338

A. 1/15mol·L^{-1}磷酸氢二钠,ml		80.8	82.5	84.1	85.7	87.0	88.2	89.4	90.5	91.5	92.3	93.2	93.8	94.7
B. 1/15mol·L^{-1}磷酸二氢钾,ml		19.2	17.5	15.9	14.3	13.0	11.8	10.6	9.5	8.5	7.7	6.8	6.2	5.3
pH	20℃	7.412	7.462	7.504	7.561	7.610	7.655	7.705	7.754	7.806	7.848	7.909	7.948	8.018
	30℃	7.384	7.439	7.481	7.530	7.576	7.626	7.672	7.726	7.776	7.825	7.877	7.819	7.977

表 3-24 Britton-Robinson 广泛缓冲溶液的配制

(1)混合酸-氢氧化钠缓冲溶液

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml	100															
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml	0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5
pH(18℃)	1.81	1.89	1.98	2.09	2.21	2.36	2.56	2.87	3.29	3.78	4.10	4.35	4.56	4.78	5.02	5.33

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml	100												
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0
pH(18℃)	5.72	6.09	6.37	6.59	6.80	7.00	7.24	7.54	7.96	8.36	8.69	8.95	9.15

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml	100											
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100
pH(18℃)	9.37	9.62	9.91	10.38	10.88	11.20	11.40	11.58	11.70	11.82	11.92	11.98

(2)混合酸-氢氧化钠缓冲溶液

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml		100											
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
pH (18℃)	a①	2.40	2.55	2.73	2.92	3.12	3.35	3.57	3.80	4.02	4.21	4.40	4.57
	b②	2.58	2.72	2.86	3.03	3.21	3.43	3.66	3.87	4.09	4.26	4.42	4.58

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml		100												
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml		24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
pH (18℃)	a①	4.74	4.91	5.08	5.25	5.40	5.57	5.70	5.91	6.10	6.28	6.45	6.62	6.79
	b②	4.75	4.91	5.08	5.25	5.40	5.57	5.70	5.91	6.10	6.28	6.45	6.62	6.79

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml		100												
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml		50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74
pH (18℃)	a①	6.94	7.12	7.30	7.45	7.63	7.79	7.98	8.15	8.35	8.55	8.76	8.97	9.20
	b②	6.94	7.12	7.30	7.45	7.63	7.79	7.98	8.15	8.35	8.55	8.76	8.97	9.20

A. 1/25mol・L^{-1}混合酸,ml		100												
B. 0.2mol・L^{-1}氢氧化钠,ml		76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
pH (18℃)	a①	9.41	9.65	9.88	10.21	10.63	11.00	11.23	11.44	11.60	11.75	11.85	11.94	12.02
	b②	9.41	9.65	9.88	10.21	10.63	11.00	11.23	11.44	11.60	11.75	11.85	11.94	12.02

①A+B 溶液的 pH 值。

②A+B 溶液用水稀释至 200ml 时溶液的 pH 值。

表 3-25 Gomori 缓冲溶液的配制

(1)2,4,6-三甲基吡啶-盐酸缓冲溶液

A. 0.2mol・L^{-1}2,4,6-三甲基吡啶,ml	25.0								
B. 0.1mol・L^{-1}盐酸,ml	45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水,ml	30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0

续表

pH	23℃	6.45	6.62	6.80	6.92	7.03	7.13	7.22	7.33	7.40
	37℃	6.37	6.54	6.72	6.84	6.95	7.05	7.14	7.23	7.32

A. 0.2mol·L^{-1}2,4,6-三甲基吡啶,ml		25.0							
B. 0.1mol·L^{-1},盐酸 ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0
水,ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0
pH	23℃	7.50	7.57	7.67	7.77	7.88	8.00	8.18	8.35
	37℃	7.40	7.50	7.60	7.70	7.80	7.94	8.10	8.28

(2)2-氨基-2-羟甲基-(1,3)丙二醇-盐酸缓冲溶液(tris 缓冲溶液)

A. 0.2mol·L^{-1}2-氨基-2-羟甲基-(1,3)丙二醇,ml		25.0								
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml		45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水,ml		30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0
pH	23℃	7.20	7.36	7.54	7.66	7.77	7.87	7.96	8.05	8.14
	37℃	7.05	7.22	7.40	7.52	7.63	7.73	7.82	7.90	8.00

A. 0.2mol·L^{-1}2-氨基-2-羟甲基-(1,3)丙二醇,ml		25.0							
B. 0.1mol·L^{-1},盐酸 ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0
水,ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0
pH	23℃	8.23	8.32	8.40	8.50	8.62	8.74	8.92	9.10
	37℃	8.10	8.18	8.27	8.37	8.48	8.60	8.78	8.95

(3)2-氨基-2-甲基-(1,3)丙二醇-盐酸缓冲溶液

A. 0.2mol·L^{-1} 2-氨基-2-甲基-(1,3)丙二醇,ml		25.0								
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml		45.0	42.5	40.0	37.5	35.0	32.5	30.0	27.5	25.0
水,ml		30.0	32.5	35.0	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0
pH	23℃	7.83	8.00	8.18	8.30	8.40	8.50	8.60	8.70	8.78
	37℃	7.72	7.90	8.07	8.20	8.30	8.40	8.50	8.58	8.67

A. 0.2mol·L^{-1}2-氨基-2-甲基-(1,3)丙二醇,ml		25.0							
B. 0.1mol·L^{-1}盐酸,ml		22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5	5.0
水,ml		52.5	55.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0
pH	23℃	8.87	8.96	9.05	9.15	9.26	9.38	9.56	9.72
	37℃	8.76	8.85	8.94	9.03	9.15	9.27	9.45	9.62

表 3-26 等渗缓冲溶液的配制

(1)磷酸二氢钾-碳酸氢钠缓冲溶液(温血动物)

A. 2.33%磷酸二氢钾,ml	8.0	6.0	4.0	2.0
B. 1.44%碳酸氢钠,ml	2.0	4.0	6.0	8.0
pH	6.06	6.91	7.10	7.59

(2)柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲溶液(温血动物)

A. 0.263mol·L^{-1}柠檬酸,ml	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0

续表

B. 0.123mol·L^{-1}磷酸氢二钠，ml	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
pH	2.06	2.27	2.50	2.69	2.94	3.28	3.81	4.79	6.33
(3)磷酸二氢钾-磷酸氢二钠缓冲溶液（冷血动物）									
A. 1.77%磷酸二氢钾，ml	8.2	7.2	5.9	4.7	3.5	2.4	1.6	1.0	0.2
B. 1.77%磷酸氢二钠，ml	1.8	2.8	4.1	5.3	6.5	7.6	8.4	9.0	9.8
pH	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6

表 3-27　甲酸-甲酸钠缓冲溶液的配制

A. 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠，ml	50.0											
B. 0.1mol·L^{-1}甲酸，ml	684	442	294	203	146	110	87.9	73.9	65.1	59.5	56.0	53.8
水	加至 1L											
pH(25℃)	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8

表 3-28　*N*-乙基吗啉-盐酸缓冲溶液的配制

A. 0.2mol·L^{-1}*N*-乙基吗啉，ml	50.0						
B. 1mol·L^{-1}盐酸，ml	8.0	7.1	6.1	5.0	4.0	2.9	2.0
水	加至 1L						
pH(20℃)	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2

表 3-29　挥发性的缓冲溶液的配制

pH	配　制　方　法	主要用途
1.9	乙酸(87ml)，甲酸(25ml，88%)加水配成 1L	一般用
2.1	甲酸(25ml，88%)加水配成 1L	一般用
3.1	吡啶(5ml)，乙酸(100ml)加水配成 1L	一般用
3.1	吡啶(16.1ml)，甲酸(30ml)加水配成 1L	柱色谱
3.1	吡啶(16.1ml)，乙酸(260ml)加水配成 1L	柱色谱
3.5	吡啶(5ml)，乙酸(50ml)加水配成 1L	一般用
3.6	按吡啶：乙酸：水=1：10：89 体积比配制	高压纸上电泳
3.7	按吡啶：乙酸：水=1：10：289 体积比配制	高压纸上电泳
4.1	吡啶(44.2ml)，乙酸(138ml)加水配成 1L	柱色谱
4.7	吡啶(25ml)，乙酸(25ml)加水配成 1L	一般用
5.1	吡啶(161ml)，乙酸(145ml)加水配成 1L	柱色谱
5.4	吡啶(8ml)，乙酸(2ml)加水配成 1L	一般用
6.5	吡啶(100ml)，乙酸(4ml)加水配成 1L	一般用
6.5	按吡啶：乙酸：水=10：0.4：90 体积比配制	高压纸上电泳
7.9	0.03mol·$L^{-1}$$NH_4HCO_3$	一般用
8.0	*N*-乙基吗啉(23ml)、乙酸(3ml)加水配成 1L	一般用
8.0	吡啶(47ml)，α-甲基吡啶(117ml)，乙酸(0.5ml)加水配成 4L	柱色谱
8.3	吡啶(40ml)，2,4,6-三甲基吡啶(40ml)，乙酸(115ml)加水配成 4L	柱色谱
8.9	$(NH_4)_2CO_3$(20g·L^{-1})	一般用
9.3	吡啶(30ml)，*N*-乙基吗啉(50ml)，乙酸(0.4～2.0ml)加水配成 4L	柱色谱

表 3-30 普通缓冲溶液的配制

pH	配　制　方　法
0	1mol·L^{-1}盐酸
1	0.1mol·L^{-1}盐酸
2	0.01mol·L^{-1}盐酸
3.6	$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$ 8g,溶于适量水中,加 6mol·L^{-1}乙酸 134ml,稀至 500ml
4.0	$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$ 20g,溶于适量水中,加 6mol·L^{-1}乙酸 134ml,稀至 500ml
4.5	$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$ 32g,溶于适量水中,加 6mol·L^{-1}乙酸 68ml,稀至 500ml
5.0	$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$ 50g,溶于适量水中,加 6mol·L^{-1}乙酸 34ml,稀至 500ml
5.7	$NaCH_3COO\cdot 3H_2O$ 100g,溶于适量水中,加 6mol·L^{-1}乙酸 13ml,稀至 500ml
7	NH_4CH_3COO 77g,用水溶解后,稀至 500ml
7.5	NH_4Cl 60g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 1.4ml,稀至 500ml
8.0	NH_4Cl 50g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 3.5ml,稀至 500ml
8.5	NH_4Cl 40g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 8.8ml,稀至 500ml
9.0	NH_4Cl 35g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 24ml,稀至 500ml
9.5	NH_4Cl 30g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 65ml,稀至 500ml
10.0	NH_4Cl 27g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 197ml,稀至 500ml
10.5	NH_4Cl 9g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 175ml,稀至 500ml
11	NH_4Cl 3g,溶于适量水中,加 15mol·L^{-1}氨水 207ml,稀至 500ml
12	0.01mol·L^{-1}氢氧化钠
13	0.1mol·L^{-1}氢氧化钠

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家标准　GB 3100-3102—93,量和单位,北京:中国标准出版社,1993.
2. 中华人民共和国国家标准　GB 602—88,化学试剂,杂质测定用标准溶液的制备.北京:中国标准出版社,1988.
3. 中华人民共和国国家标准　GB 601—88,化学试剂,滴定分析(容量分析)标准溶液的制备.北京:中国标准出版社,1988.
4. 日本化学会编,化学便览,基础编 Ⅱ,改订 2 版.丸善株式会社昭和 50 年.
5. 中华人民共和国国家标准　GB 9724—88,化学试剂,pH 测定通则.北京:中国标准出版社,1988.
6. 楼书聪编著.化学试剂配制手册.南京:江苏科学技术出版社,1993.

第四章　普通分析仪器的校正

第一节　天平及砝码[1]

一、天平的类型和准确度级别

本节列举的天平是非自动天平中的杠杆式天平，不包括上皿式天平、自动记录天平及各类专用天平。一般天平的型号和准确度级别如表 4-1 所示。天平的准确度级别按天平的最大称量(max)与检定标尺分度值(e)之比值(n)划分，n=max/e，共分为 10 级。例如，最大称量为 200g，检定标尺分度值为 0.0001g，那么：$n=200/0.0001=2\times10^6$，从表 4-2 可知该天平的准确度级别为 3 级。

表 4-1　一般分析天平的型号与性能指标

名称	型号	最大称量 g	检定标尺分度值 mg	最大称量与检定标尺分度值之比	准确度级别
半机械加码电光天平	TG328B	200	0.1	2×10^6	3
全机械加码电光天平	TG328A	200	0.1	2×10^6	3
微量天平	TG332A	20	0.01	2×10^6	3
阻尼天平	TG528B	200	0.4	5×10^5	5
全机械加码单盘天平	DT-100	100	0.1	1×10^6	4

表 4-2　天平的准确度级别

准确度级别	最大称量与检定标尺分度值之比	准确度级别	最大称量与检定标尺分度值之比
1	$1\times10^7\leqslant n\leqslant2\times10^7$	6	$2\times10^5\leqslant n\leqslant4\times10^5$
2	$4\times10^6\leqslant n\leqslant1\times10^7$	7	$1\times10^5\leqslant n\leqslant2\times10^5$
3	$2\times10^6\leqslant n\leqslant4\times10^6$	8	$4\times10^4\leqslant n\leqslant1\times10^5$
4	$1\times10^6\leqslant n\leqslant2\times10^6$	9	$2\times10^4\leqslant n\leqslant4\times10^4$
5	$4\times10^5\leqslant n\leqslant1\times10^6$	10	$1\times10^4\leqslant n\leqslant2\times10^4$

二、天平的计量性能

天平的计量性能规定天平衡量的精确度，它包括稳定性、灵敏性、正确性和示值变动性四项。

(一)稳定性

天平的稳定性系指平衡中天平横梁在受到扰动离开平衡位置后，仍旧能自动恢复原来平衡位置的能力。它是天平计量的先决条件。保证天平横梁及承重系统的稳定平衡状态的必要条件，是该系统的重心必须处于中刀刃(支点)的下方。重心与支点的距离愈大，天平愈稳定。若

[1] 主要参照中华人民共和国国家标准：GB/T 4168—92，非自动天平杠杆式天平；JJG98—90，非自动天平试行检定规程；GB4167—84，1—5 等砝码；JJG99—90，砝码试行检定规程. 北京：中国标准出版社。

重心高于中刀刃，则天平失去稳定平衡状态而无法计量。天平的稳定性与灵敏性和示值变动性之间有密切关系；重心位置愈高，天平愈灵敏，但也愈不稳定，示值变动性也就较大。因此，在一架调校好的天平中，只是这些相互矛盾的因素在一定条件下达到相对的统一。对于稳定性，不规定具体的检定指标，实际上它包含在天平的灵敏性和示值变动性之中。

（二）**灵敏性**（或称灵敏度）

天平的灵敏性是指天平能够“觉察”出两盘中重物重量之差的能力，能“觉察”出的重量愈小，灵敏性愈好。天平的灵敏度可以指针的线位移或角位移与引起此位移的被测量的变动量之比表示，其数学式为：

$$E=\frac{n\lambda}{r} \qquad \text{或} \qquad E=\frac{a}{r} \tag{4-1}$$

式中 E——天平的灵敏度；

n——指针偏移的分度数；

λ——读数标牌每一分度的宽度，mm；

r——测定灵敏度用的小砝码，mg；

a——横梁偏转的角位移，度。

一般使用中，经常利用“分度值”这个概念。分度值就是使天平的平衡位置在标牌上产生一个分度变化所需要的重量值。这就是通常所指的“感量”。对于同一台天平，分度值与灵敏度互为倒数关系，即

$$S=\frac{1}{E}$$

式中 S——天平标牌的分度值或感量。

灵敏度的单位：在线位移中以 mm/mg 表示；在角位移中以(°)/mg 表示。分度值的单位以 mg/分度表示。

灵敏度由天平横梁及承重系统重心与支点的距离所规定。由于横梁上三个刀刃不是绝对地在同一平面上，因此，空天平的重心位置与载重时重心位置不能完全相同。这就产生空载时灵敏度与载重时灵敏度的差别，而这一差别不是调节重心球位置所能解决的，必须校正刀座位置才能解决。对于固定分度值的天平，要求空载时灵敏度与全载重时灵敏度一致。对于非固定分度值的天平，可通过实验测出的灵敏度加以校正。

（三）**正确性**

天平的正确性系指横梁两臂长具有正确固定的比例关系而言。对于等臂天平来说，正确性通常用不等臂性来说明。正确性好的天平，横梁两臂的长度之差应符合一定要求。由不等臂性引起的误差是系统误差而且与被测量物体的重量成正比。因此规定此项误差以天平在最大载荷时由臂长不等引起的误差的量值表示。在精密衡量中，一般可用交换法或替代法消除衡量结果中的这一误差。

对于具有机械加码的天平，需要指出，减码式单盘天平由于横梁结构决定了用它衡量的方法只能是替代衡量法，即物体和砝码在天平的同一臂进行替代衡量，因而这一类天平不存在不等臂性误差的问题。而对于采用直接衡量法的机械加码式天平（如 TG328A 型），物体和砝码在天平的两臂进行衡量时，不等臂性误差被带进衡量结果中去了。这类天平的不等臂性误差，在检定天平时与砝码本身的质量偏差成为一个综合值，因此应当注意，机械加码式天平上的砝码应挂在天平上检定，也只能在该天平上使用。

（四）示值变动性

天平的示值变动性是指天平在载荷不变的情况下，多次开关天平平衡点变化的情况。它表明天平衡量结果的可靠程度。如果天平的示值变动性大于该天平的分度值，显然天平的灵敏度就失去了意义。这说明在不能保证示值变动性不超出一定范围的条件下，单纯提高灵敏度是没有意义的。因此规定两者的比例关系是 1∶1。天平元件的质量和所处的调整状态是产生变动性的内在因素，但是环境温度，气流，震动等外界因素对它也有影响。

各级天平的计量性能指标见表 4-3。

表 4-3 各级天平计量性能指标

<table>
<tr><th rowspan="4">精度级别</th><th rowspan="4">示值变动性(分度)</th><th colspan="5">分度值误差</th><th colspan="4">横梁不等臂性误差(分度)</th><th rowspan="4">游码标尺、链条标尺称量误差(分度)</th></tr>
<tr><th colspan="3">具有阻尼器的微分标尺和数字标尺的天平(分度)</th><th colspan="2">普通标尺天平(最大实际分度值)</th><th colspan="2">具有阻尼器的微分标尺和数字标尺的天平</th><th colspan="2">普通标尺天平</th></tr>
<tr><th colspan="2">空秤与全秤量之差</th><th>左盘与右盘之差</th><th>空秤与全秤量之差</th><th>左盘与右盘之差</th><th rowspan="2">新生产、修理后</th><th rowspan="2">使用中</th><th rowspan="2">新生产、修理后</th><th rowspan="2">使用中</th></tr>
<tr><th>新生产、修理后</th><th>使用中</th><th>新生产、修理后、使用中</th><th colspan="2">新生产、修理后、使用中</th></tr>
<tr><td>1—3 级</td><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">空秤±1，全秤量 $^{+2}_{-1}$</td><td rowspan="3">空秤 $^{+1}_{-2}$，全秤量±2</td><td rowspan="3">2</td><td colspan="2">$\frac{1}{8}$</td><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">9</td><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">6</td><td rowspan="3">1</td></tr>
<tr><td>4—7 级</td><td colspan="2">$\frac{1}{5}$</td></tr>
<tr><td>8—10 级</td><td colspan="2">$\frac{1}{3}$</td></tr>
</table>

注：1. 具有阻尼器的微分标尺和数字标尺天平的分度值误差，以微分标尺或数字标尺的零位至正式分度末位时的摆幅计，当单向微分标尺和数字标尺的分度数大于 100 分度时，则应测定均匀分布在该标尺上的 5 个点，其误差，空秤时为±1 分度；全秤量时，在标尺 1/2 及其以内的各测点为±1 分度，大于标尺 1/2 时为 $^{+2}_{-1}$分度。对于双盘标准天平，微分标尺和数字标尺应为双方。但使用中的双盘标准天平，微分标尺允许用单向。

2. 普通标尺天平的分度值误差，以最大实际分度值计，普通标尺天平的实际分度值不得大于其标称分度值。

3. 分度值不大于 0.001mg 的天平，其游码标尺称量误差不大于 2 分度。

4. 安设微读机构的天平，若示值变动性不大于该机构的 1 分度，并且其余计量性能也符合与此机构分度值的相应比例关系时，天平的精度可按微读机构的分度值计算。

三、天平计量性能的检查

检查天平计量性能的过程，通常叫做天平的检定。天平的正式检定应按天平检定规程进行。对于实验室中天平计量性能的检查，可适当简化，操作步骤简述如下。

表 4-4 天平计量性能检查记录

观测程序	称盘上的载荷		平衡位置	观测程序	称盘上的载荷		平衡位置
	左 盘	右 盘	L		左 盘	右 盘	L
1	O	O	L_1	5	$P_2(+K)$	$P_1(+K)$	L_5
2	r	O	L_2	6	$P_1(+K)+r$	$P_1(+K)$	L_6
3	$P_1(+K)$	$P_2(+K)$	L_3	7	O	O	L_7
4	O	O	L_4				

(1) 无载荷的空天平平衡位置的调整和测定。测得平衡位置 L_1，在以后的各项测定中不得再作调整；

(2) 空称灵敏度测定。在左盘加小砝码 r，对于微分标牌天平，r 应相等于微分标牌正式读数的最大值，对于普通标牌天平，r 应相当于必须能改变平衡位置不少于 3 个分度的量值的砝码，测得平衡位置为 L_2；

(3) 测定天平的不等臂性误差。取下小砝码 r，把相当于天平最大称量的一对砝码 P_1 和 P_2 分别放在两盘中心（这一对砝码最好是经过调校的等量砝码），半开启天平，若天平不平衡，即关住天平，在较轻的一盘中加适当的重物使其平衡，测定天平的平衡位置 L_3；

(4) 测定空天平平衡位置。取下砝码 P_1 和 P_2（包括加上去的平衡重物），测得空天平平衡位置 L_4；

(5) 交换砝码 P_1 和 P_2 位置（包括加上去的平衡重物），继续测定天平的不等臂性误差。若天平不平衡，在较轻的盘中加标准小砝码直至天平平衡，测得平衡位置 L_5；

(6) 测定天平载重时的灵敏度。两盘中的砝码保持不动，将小砝码 r 加在左盘，开动天平，测得平衡位置 L_6；

(7) 测定空天平平衡点。取下盘中全部砝码，测得空天平平衡位置 L_7。至此，检查操作完毕。

检查结果计算：

灵敏度：空称分度值（S_0）
$$S_0=\frac{r}{|L_2-L_1|} \tag{4-2}$$

全载重分度值（S_P）
$$S_P=\frac{r}{|L_6-L_5|} \tag{4-3}$$

不等臂性误差（Y）：
$$Y=\pm\frac{K}{2S_P}\pm\left(\frac{L_3+L_5}{2}-\frac{L_1+L_4}{2}\right) \tag{4-4}$$

测定不等臂性误差时，若小砝码 K 加于左盘，公式中$\frac{K}{2S_P}$前为正号表示右臂较长；当 K 加于右盘时，则在$\frac{K}{2S_P}$前为负号，即左臂较长；如在交换砝码后不需要添加小砝码 K，若公式中括号里的差数为正时，即表示右臂较长；如括号里的差数为负数时，则表示左臂较长。以上规定是指标牌的零点位于右面或零点位于中间而左“+”右“－”指针向下的天平。如果零点在中间或在左面而右“+”左“－”，那么当括号中的差数为正时，就表示左臂较长，而括号前改用负号。

天平的示值变动性(Δ_0)　$\Delta_0=L_0(\text{最大})-L_0(\text{最小})$

式中 L_0 是空天平的各次平衡位置。　(4-5)

四、砝码的分类与性能

（一）砝码分类

砝码按其是否有修正值分为两大类。有修正值的砝码分为一、二等；无修正值的砝码分为 1—7 级。

（二）砝码质量值

一等砝码采用真空质量值，二等砝码以及 1～7 级砝码一般采用折算质量值。

砝码的折算质量就是一个实际砝码与材料密度为 $8.0g\cdot cm^{-3}$的假想砝码在空气密度为

0.0012g·cm⁻³的条件下相互平衡，后者的真空质量值就称为前者的折算质量值，其中8.0g·cm⁻³称为砝码的统一约定密度。

砝码折算质量值 m^* 与真空质量值 m 之间的折算关系为：

$$m^* = m + (V^* - V)\rho_{(1.2)} = \frac{\left(1-\frac{\rho_{1.2}}{\rho}\right)}{0.99985}m \tag{4—6}$$

$$m = m^* + (V - V^*)\rho_{(1.2)} = \frac{0.99985}{\left(1-\frac{\rho_{1.2}}{\rho}\right)}m^* \tag{4—7}$$

式中　ρ——砝码的材料密度，$g \cdot cm^{-3}$；

$\rho_{1.2}$——约定的标准空气密度，$0.0012g \cdot cm^{-3}$；

V——砝码的实际体积，cm^3；

V^*——砝码材料按统一约定密度计算时的体积，cm^3。

（三）砝码质量的标称值和组合

砝码质量的标称值 m' 通常情况下应为：

$$m' = a \times 10^n kg \tag{4—8}$$

式中　a——1、2、5；

n——3～－8的整数，其中－8只适用于 $5\times10^n kg$。

砝码的组合方式有：

(1、2、2、5) $\times10^n kg$（优先选用）

(1、1、2、5) $\times10^n kg$

(1、1、1、2、5) $\times10^n kg$

(1、1、2、2、5) $\times10^n kg$

（四）砝码的检定精度，修正值和允差

各等砝码的检定精度和质量允差如表4-5所示。检定精度是检定砝码时掌握的标准，其要求比质量允差更高。各等砝码经检定后必须在检定证书中给出质量修正值。

各级砝码的质量允差如表4-6所示。各级砝码检定后不给出修正值。但首次检定时或修理后检定时的砝码质量修正值不得大于该砝码质量允差的三分之一。

分析天平最常用的砝码是不给出修正值的三级砝码。

表4-5　各种准确度等级砝码的允差值表

准确度等级 / 允差 / 标称质量值①	一等		二等		备注
	质量允差 ±mg	检定精度 ±mg	质量允差 ±mg	检定精度 ±mg	
200g	0.5	0.2	1.5	0.6	使用中的一等、二等砝码按实际值计算新制的一等、二等砝码的质量负允差为规定值的二分之一
100g	0.4	0.1	1.0	0.3	
50g	0.3	0.1	0.6	0.3	
30g	0.2	0.06	0.4	0.2	
20g	0.15	0.04	0.3	0.12	
10g	0.10	0.02	0.2	0.06	
5g	0.05	0.01	0.15	0.03	
3g	0.05	0.007	0.15	0.03	

续表

标称质量值① \ 允差 \ 准确度等级	一等		二等		备注
	质量允差 ±mg	检定精度 ±mg	质量允差 ±mg	检定精度 ±mg	
2g	0.05	0.005	0.10	0.03	使用中的一等、二等砝码按实际值计算新制的一等、二等砝码的质量负允差为规定值的二分之一
1g	0.05	0.005	0.10	0.03	
500mg	0.03	0.004	0.05	0.02	
300mg	0.03	0.004	0.05	0.02	
200mg	0.03	0.004	0.05	0.02	
100mg	0.03	0.004	0.05	0.02	
50mg	0.02	0.004	0.05	0.02	
30mg	0.02	0.004	0.05	0.02	
20mg	0.02	0.004	0.05	0.02	
10mg	0.02	0.004	0.05	0.02	
5mg	0.01	0.004	0.05	0.02	
3mg	0.01	0.004	0.05	0.02	
2mg	0.01	0.004	0.05	0.02	
1mg	0.01	0.004	0.05	0.02	
0.5mg	0.01	0.003			
0.2mg	0.005	0.002			
0.1mg	0.005	0.002			
0.05mg	0.005	0.002			

① 标称质量为 3×10^{n}kg 的砝码不许再生产。

表 4-6　1～5 级砝码的允差值

标称质量值 \ 质量允差(±)mg \ 准确度级别	1 级 E_1	2 级 E_2	3 级 F_1	4 级 F_2	5 级 M_1
200g	0.10	0.30	1.0	3.0	10
100g	0.05	0.15	0.5	1.5	5
50g	0.030	0.10	0.30	1.0	3
20g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5
10g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0
5g	0.015	0.05	0.15	0.5	1.5
2g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2
1g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0
500mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8
200mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6
100mg	0.005	0.015	0.05	0.15	0.5
50mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4
20mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3
10mg	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2
5mg	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2
2mg	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2
1mg	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2

五、砝码的检定

砝码在使用过程中，由于种种原因可能引起质量误差，因此有必要对砝码的质量作定期检定。砝码的正式检定应按照砝码检定规程进行。本节仅列举实验室中检定工作砝码是否符合质量允差的一种方法。

检定砝码应该有一架计量性能较好的天平和一副作标准用的砝码，此砝码须经计量单位检定并给出质量修正值，平时不应用做工作砝码。被检定的砝码不得有表面镀层脱落和生锈现象，在检定前必须进行清洁处理，并待砝码温度与室温平衡后，方可进行检定。

质量测定方法采用替代衡量法（简称替代法）。单个砝码的检定操作如下：

(1)将作为标准用的砝码 B 放到天平的一个盘里，以相当的重物 T 置于另一盘平衡之，开启天平，记下四个连续读数或两次静止点读数。关住天平；

(2) 取下标准砝码 B，并在此盘中放上相同标称值的被检砝码 A。若在置换砝码后，天平的平衡状态被破坏，须在较轻的称盘上添加标准小砝码 a，以恢复平衡。随即记下四个连续读数或两次静止点读数。关住天平；

(3) 若在此载荷下的分度值 S 事先没有测定，即于天平的任一盘中放上标准小砝码 r，并记下四个连续读数或两次静止点读数。小砝码 r 所改变的天平平衡位置与前述灵敏度测定相同；

(4) 将检定时所得读数记入检定记录表（表 4-7）的有关栏内。

表 4-7　替代衡量法记录表

观察顺序	左　盘	右　盘	读　　数				平衡位置	添加的小砝码	
			L_1	L_2	L_3	L_4	L	左　盘	右　盘
1	T	B					$L_B=$		
2	T	A					$L_A=$		
3	T	$A+r$					$L_r=$		

根据检定得出的数据，按下式算出被检砝码的质量：

$$A=B\pm(L_A-L_B)S\pm a \qquad (4-9)$$

$$S=\frac{r}{|L_r-L_A|} \qquad (4-10)$$

按照上述方法，依次将被检砝码组内的各个砝码，分别与作为标准的相同标算值的砝码相比较，并计算其结果。

检定结果符合该等级砝码质量允差认为合格。超过规定的质量允差时，应进行调修；无法调修者可根据具体情况或作降等处理，或报废。

六、砝码的使用与维护

(1) 各等砝码按检定系统表的规定使用。一等、二等砝码使用实际质量，各级砝码用标称质量。

(2) 暂不使用的砝码必须放在砝码盒内。砝码盒放在洁净、干燥而无明显温度波动的房间或专用的玻璃干燥皿中。

(3) 二等及 4 级以上砝码不应赤手拿取，应用镊子、夹叉或垫以柔软洁净的麂皮、真丝绸布或带上细纱手套拿取。取放砝码必须轻拿轻放。大砝码起吊时要平稳、缓慢、轻放，不

得碰坏或划伤砝码的表面。砝码表面如有锈蚀、镀层脱落或有较深较长的划痕时，立即停止使用，修理后重新检定。

(4) 砝码的表面应保持清洁。各等4级以上砝码定期用无水乙醇、航空汽油、苯、乙醚或丙酮清洗。清洗实心的砝码时，将砝码置于铺有真丝绸布的浅盘中，按要求进行清洗。清洗时可用软毛刷轻轻刷洗，然后置于另外一个铺有干燥柔软、清洁的真丝绸布或麂皮的浅盘中，用干燥而柔软清洁的真丝绸布或麂皮沾去砝码表面残存的液体，晾干（洗涤时严禁砝码碰撞）。清洗带调整腔的3、4级砝码时，应用清洁，柔软的麂皮或真丝绸布沾少许清洗液轻轻擦拭，除去砝码表面的污垢和灰尘。严防清洗液渗入调整腔。清洗5级以下砝码时，如表面只有灰尘，可用清洁的毛刷或柔软洁净的真丝绸布，亚麻布除去灰尘，对于表面涂漆的砝码如有污垢时，可用沾有温肥皂水的亚麻布擦洗，随后用干燥而柔软的真丝绸布或亚麻布擦干。

(5) 砝码的检定证书应放在砝码盒内。砝码必须按周期检定。除周期检定和正式修理以外，不得启动砝码的调整腔盖或更动计量机关在砝码上所做的印封标记，无检定证书或其他合格印记的砝码一律不准使用。

第二节 容量器皿的校正

一、容量器皿的校准

容量器皿的容积与它所标出的数值并非都十分准确地相符，因此在进行准确度要求较高的分析工作时，必须对所使用的量器进行校准。

容量的基本单位是立方分米(dm^3)即升。1L是指在101325Pa(1atm)下,质量为1kg的水在其密度为最大值的温度(3.98℃)时所占的容积。但一般分析工作不可能在3.98℃下进行,因此通常以20℃作为标准温度,即在20℃时1L容积等于3.98℃时质量为1kg水所占的容积。校正的方法是称量一定容积的水,然后根据该温度时水的密度,将水的质量换算成容积。

由于水的密度和玻璃容器的体积随温度的变化而改变，以及在空气中称量有空气浮力的影响，因此将任一温度下水的质量换算成容积时必须考虑以下几个因素：

(1) 校准温度下水的密度；

(2) 校准温度与标准温度之间玻璃的热膨胀；

(3) 空气浮力对水和所用容器及砝码的影响。

在20℃容积为1L的容器，在不同温度下，用水充满该容积时，于空气中以黄铜砝码称取的水重数据列于表4-8中。将三项校准值综合，得到不同温度，不同体积的水在空气中用黄铜砝码称得的质量列于表4-9。容量器皿校准时，称量容量器皿量入或量出的水的质量，除以在该温度下在空气中以黄铜砝码称得的水的质量，即得该容器的实际容积。

表4-8 不同温度下1L水的质量

温　度 t/℃	1 000ml水在真空中的质量 m/g	水相对密度随温度而变化的改正数 A/g	用黄铜砝码在空气中称量的改正数 B/g	玻璃膨胀改正数 C①/g	改正数总和 $(A+B+C)$/g	$1\,000-(A+B+C)$/g
9	999.81	0.19	1.10	0.28	1.57	998.43
10	999.73	0.27	1.09	0.25	1.61	998.39
11	999.63	0.37	1.09	0.23	1.69	998.31

续表

温度 t/℃	1 000ml 水在真空中的质量 m/g	水相对密度随温度而变化的改正数 A/g	用黄铜砝码在空气中称量的改正数 B/g	玻璃膨胀改正数 C[①]/g	改正数总和 $(A+B+C)$/g	$1\,000-(A+B+C)$/g
12	999.52	0.48	1.09	0.20	1.77	998.23
13	999.40	0.60	1.08	0.18	1.86	998.14
14	999.27	0.73	1.08	0.15	1.96	998.04
15	999.13	0.87	1.07	0.13	2.07	997.93
16	998.97	1.03	1.07	0.10	2.20	997.80
17	998.80	1.20	1.07	0.08	2.35	997.65
18	998.62	1.38	1.06	0.05	2.49	997.51
19	998.43	1.57	1.06	0.03	2.66	997.34
20	998.23	1.77	1.05	0.00	2.82	997.18
21	998.02	1.98	1.05	−0.03	3.00	997.00
22	997.80	2.20	1.05	−0.05	3.20	996.80
23	997.57	2.43	1.04	−0.08	3.39	996.61
24	997.33	2.67	1.04	−0.10	3.61	996.39
25	997.08	2.92	1.03	−0.13	3.82	996.18
26	996.82	3.18	1.03	−0.15	4.06	995.94
27	996.55	3.45	1.03	−0.18	4.30	995.70
28	996.27	3.73	1.02	−0.20	4.55	995.45
29	995.98	4.02	1.02	−0.23	4.81	995.19
30	995.68	4.32	1.01	−0.25	5.08	994.92
31	995.37	4.63	1.01	−0.28	5.36	994.64
32	995.06	4.94	1.01	−0.30	5.65	994.35
33	994.73	5.27	1.00	−0.33	5.94	994.06
34	994.40	5.60	1.00	−0.35	6.25	993.75
35	994.06	5.94	0.99	−0.38	6.55	993.45

① 指钠钙玻璃。

由于玻璃成分的不同，其体热膨胀系数亦不相同，因此计算量器在标准温度 20℃的容量时，可按下式计算：

$$V_{20}=(I_L-I_E)\times\left(\frac{1}{\rho_W-\rho_A}\right)\times\left(1-\frac{\rho_A}{\rho_B}\right)\times[1-\gamma(t-20)] \qquad (4\text{—}11)$$

式中 I_L——盛水容器的天平读数，g；

I_E——空容器的天平读数，g；

ρ_A——空气密度，$g\cdot ml^{-1}$；

ρ_B——砝码在调整到其标称质量时的实际密度，或根据砝码调整的基准密度（见注），$g\cdot ml^{-1}$。或当使用无砝码电子天平时，已调整的砝码的基准密度（见注）；

ρ_W——t℃时，水的密度，$g\cdot ml^{-1}$；

γ——受检量器玻璃的体热膨胀系数，K^{-1}；

t——校准时使用的水的温度，℃。

注：砝码在空气中称量时按砝码密度为 $8.0g\cdot ml^{-1}$ 来调至准确的结果，电子天平是以这个质量为标准调整的。其中 ρ_W、ρ_A、γ 的相应值可在表 4-10、表 4-11 和表 4-12 或有关资料上查到。

玻璃量器容量最简单的计算如下：

将式（4-11）的 2、3、4 项的乘积以 Z 来表示，则该式可近似写成：

$$V_{20}=(I_L-I_E)+V_n(Z-1) \qquad (4\text{—}12)$$

表 4-9　不同温度下不同体积水的质量（m/g）

本表系指不同温度下以水充满各种容积的玻璃量器，在空气中用黄铜砝码称取的水质量。

t/℃ \ V/ml	2 000	1 000	500	250	200	100	50	40	25	20	15	11	10	5.5	5	2	1
5	1997.10	998.55	499.27	249.637	199.710	99.855	49.927	39.9420	24.9637	19.9710	14.9782	10.9840	9.9855	5.4920	4.9927	1.9971	0.9985
6	.10	.55	.27	.637	.710	.855	.927	.9420	.9637	.9710	.9782	.9840	.9855	.4920	.9927	.9971	.9985
7	.06	.53	.26	.633	.706	.853	.926	.9412	.9633	.9706	.9779	.9838	.9853	.4919	.9926	.9971	.9985
8	.00	.50	.25	.622	.700	.850	.925	.9400	.9620	.9700	.9775	.9835	.9850	.4917	.9925	.9970	.9985
9	1996.90	.45	.23	.612	199.690	.845	.923	.9380	.9612	19.9690	.9768	.9829	.9845	.4915	.9923	1.9969	.9984
10	.80	.40	.20	.600	.680	.840	.920	.9360	.9600	.9680	.9760	.9824	.9840	.4912	.9920	.9968	.9984
11	.66	.33	.17	.582	.666	.833	.917	.9332	.9582	.9666	.9750	.9816	.9833	.4909	.9917	.9967	.9983
12	.50	.25	.13	.563	.650	.825	.913	.9300	.9563	.9650	.9738	.9807	.9825	.4904	.9913	.9965	.9982
13	.30	.15	.08	.538	.630	.815	.908	.9260	.9538	.9630	.9723	10.9797	.9815	5.4899	.9908	.9963	.9982
14	.10	.05	.03	.513	.610	.805	.903	.9220	.9513	.9610	.9708	.9786	.9805	.4893	.9903	.9961	.9981
15	1995.88	997.94	498.97	.485	199.588	99.794	49.897	.9196	.9485	19.9588	14.9691	.9773	9.9794	.4887	4.9897	.9959	.9979
16	.62	.81	.91	.452	.562	.781	.891	.9124	.9452	.9562	.9672	.9759	.9781	.4880	.9891	.9956	.9978
17	.34	.67	.83	.418	.534	.767	.883	.9068	.9418	.9534	.9650	.9744	.9767	.4871	.9883	.9953	.9977
18	.02	.51	.76	.378	.502	.751	.876	.9004	.9378	.9502	.9627	.9726	.9751	.4864	.9876	.9950	.9975
19	1994.70	.35	.68	.337	199.470	.735	.868	39.8940	.9337	19.9470	.9603	.9709	.9735	.4854	.9868	.9947	.9974
20	.34	.17	.58	.292	.434	.717	.858	.8868	.9292	.9434	14.9575	10.9689	.9717	.4845	.9858	.9943	.9972
21	1993.98	996.99	.50	.250	199.398	99.699	.850	.8796	.9250	19.9398	.9549	.9669	9.9699	.4835	.9850	.9940	.9970
22	.60	.80	.40	.200	.360	.680	.840	.8720	.9200	.9360	.9520	.9648	.9680	.4824	.9840	.9936	.9968
23	.18	.59	.30	.148	.318	.659	.830	.8636	.9148	.9318	14.9489	.9625	.9659	.4812	.9830	.9932	.9966
24	1992.76	.38	.19	.095	199.276	.638	.819	.8552	.9095	19.9276	.9457	.9602	.9638	.4801	.9819	.9928	.9964
25	.32	.16	.08	.040	.232	.616	.808	.8464	.9040	.9232	.9427	10.9578	.9616	5.4789	.9808	.9923	.9962
26	1991.86	995.93	497.96	248.983	199.186	99.593	49.796	.8372	24.8983	19.9186	14.9389	.9542	9.9593	.4776	4.9796	.9919	.9959
27	.36	.68	.84	.920	.136	.568	.784	.8272	.8920	.9136	.9352	.9525	.9568	.4761	.9784	.9914	.9957
28	1990.86	.43	.71	.853	199.086	.543	.771	.8172	.8853	19.9086	.9314	10.9497	.9543	.4748	.9771	.9909	.9954
29	1990.34	995.17	497.58	248.793	199.034	99.517	49.758	39.8068	24.8793	19.9034	14.9275	10.9469	9.9517	5.4733	4.9758	1.9903	0.9952
30	1989.80	994.90	.45	.725	198.980	.490	.745	39.7960	.8725	19.8980	.9235	.9439	9.9490	.4718	.9745	1.9898	.9949
31	.20	.60	.30	.650	.920	.460	.730	.7840	.8650	.8920	14.9190	.9406	.9460	.4703	.9730	.9892	.9946
32	1988.62	.31	.16	.578	198.862	.431	.716	.7724	.8578	19.8862	.9147	10.9374	.9431	5.4688	.9716	.9886	.9943
33	.02	.01	.00	.502	.802	.401	.700	.7604	.8502	.8802	.9101	.9341	.9401	.4670	.9700	.9880	.9940
34	1987.42	993.71	496.86	.428	198.742	99.371	49.686	.7484	.8428	19.8742	14.9057	.9308	9.9371	.4655	4.9686	1.9874	0.9937
35	1986.80	.40	.70	.350	198.680	.340	.670	.7360	.8350	.8680	.9010	10.9274	.9340	.4637	.9670	.9868	.9934
36	.14	.07	.53	.286	.614	.307	.653	.7228	.8268	.8614	14.8960	.9238	.9307	.4618	.9653	.9861	.9931
37	1985.48	992.74	.37	.185	198.548	99.274	.637	.7096	.8165	.8548	.8901	.9201	9.9274	.4601	.9637	.9855	.9927
38	1984.82	.41	.21	.103	.482	.241	.621	39.6964	.8103	.8482	14.8862	10.9165	.9241	5.4583	.9621	.9848	.9924
39	.12	.06	.03	.015	.412	.206	.603	.6824	.8013	.8412	.8809	.9127	.9206	.4563	.9603	.9841	.9921
40	1983.42	991.71	495.86	247.925	198.342	99.171	49.586	.6684	24.7925	.8342	14.8757	10.9088	9.9171	5.4545	4.9586	1.9834	0.9917

式中　V_n——量器的标称容量。

表 4-13、4-14、4-15、4-16，列出了 $V_n=1\ 000$ml 的 $V_n(Z-1)$值，这些表中计入了水的密度、玻璃的热膨胀以及空气浮力的综合影响，且设：$\rho_A=1.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$，$\rho_B=8000.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$〔见式(4—11)注〕；$\gamma$ 分别等于 $10\times10^{-6}\text{K}^{-1}$、$15\times10^{-6}\text{K}^{-1}$、$25\times10^{-6}\text{K}^{-1}$和 $30\times10^{-6}\text{K}^{-1}$。

ρ_A的 $1.2\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$的值接近于平均值，且相当于 10℃时空气压力 0.975×10^5Pa，20℃时的 1.015×10^5Pa 或 30℃时的 1.055×10^5Pa。适用于其他空气压力和温度的修正换算值列于表 4-11，这些修正值也适用于标称容量为 1000ml 的量器且假定在空气相对湿度为 50%和含有 0.04%（体积分数）的二氧化碳情况下计算的。在这些条件下的实际正常偏差只会产生可忽略的误差。

表 4-10　不含空气的水的密度

温度 t/℃	密度 $\rho_水$/g·ml^{-1}	温度 t/℃	密度 $\rho_水$/g·ml^{-1}
15	0.999 098	26	0.996 782
16	0.998 941	27	0.996 511
17	0.998 773	28	0.996 232
18	0.998 593	29	0.995 943
19	0.998 403	30	0.995 645
20	0.998 202	31	0.995 339
21	0.997 990	32	0.995 024
22	0.997 768	33	0.994 701
23	0.997 536	34	0.994 369
24	0.997 294	35	0.994 030
25	0.997 043		

表 4-11　温度(10～30)℃，绝对压力在(0.930～1.040)×10^{5}Pa(930～1040mbar)之间的干燥空气密度 ρ_A (P，t) /mg·cm^{-3}

压力 P_A/10^{5}Pa / 温度 t/℃	.930	.940	.950	.960	.970	.980	.990	1.000	1.010	1.020	1.030	1.040
10	1.145	1.157	1.169	1.182	1.194	1.206	1.219	1.231	1.243	1.256	1.268	1.280
11	1.141	1.153	1.165	1.178	1.190	1.202	1.214	1.227	1.239	1.251	1.263	1.276
12	1.137	1.149	1.161	1.173	1.186	1.198	1.210	1.222	1.235	1.247	1.259	1.271
13	1.133	1.145	1.157	1.169	1.182	1.194	1.206	1.218	1.230	1.243	1.255	1.267
14	1.129	1.141	1.153	1.165	1.177	1.190	1.202	1.214	1.226	1.238	1.250	1.262
15	1.125	1.137	1.149	1.161	1.173	1.185	1.197	1.210	1.222	1.234	1.246	1.258
16	1.121	1.133	1.145	1.157	1.169	1.181	1.193	1.203	1.217	1.230	1.242	1.254
17	1.117	1.129	1.141	1.153	1.165	1.177	1.189	1.201	1.213	1.225	1.237	1.249
18	1.103	1.125	1.137	1.149	1.161	1.173	1.185	1.197	1.209	1.221	1.233	1.245
19	1.109	1.121	1.133	1.145	1.167	1.169	1.181	1.193	1.205	1.217	1.229	1.241
20	1.106	1.118	1.129	1.141	1.153	1.165	1.177	1.189	1.201	1.213	1.225	1.236
21	1.102	1.114	1.126	1.137	1.149	1.161	1.173	1.185	1.197	1.208	1.220	1.232
22	1.098	1.110	1.122	1.134	1.145	1.157	1.169	1.181	1.193	1.204	1.216	1.228
23	1.094	1.106	1.118	1.130	1.141	1.153	1.165	1.177	1.189	1.200	1.212	1.224
24	1.091	1.102	1.114	1.126	1.138	1.149	1.161	1.173	1.185	1.196	1.208	1.220
25	1.087	1.099	1.111	1.122	1.134	1.145	1.157	1.169	1.181	1.192	1.204	1.216
26	1.083	1.095	1.107	1.118	1.130	1.142	1.153	1.165	1.177	1.188	1.200	1.212
27	1.080	1.091	1.103	1.115	1.126	1.138	1.140	1.161	1.173	1.184	1.196	1.208
28	1.076	1.083	1.099	1.111	1.122	1.134	1.145	1.157	1.169	1.180	1.192	1.204
29	1.073	1.084	1.096	1.107	1.119	1.130	1.126	1.153	1.165	1.176	1.188	1.200
30	1.069	1.081	1.002	1.104	1.115	1.126	1.138	1.150	1.161	1.172	1.184	1.196

表 4-12　几种玻璃的体热膨胀系数

材　料	体热膨胀系数/$10^{-6}\cdot K^{-1}$	材　料	体热膨胀系数/$10^{-6}\cdot K^{-1}$
熔融二氧化硅（石英）	1.6	硼硅酸盐玻璃	10
		钠钙玻璃	25

表 4-13　适用于由体热膨胀系数为 $10\times10^{-6}K^{-1}$ 的玻璃（如硼硅酸盐玻璃）制成的，标称容量为 1 000ml 的量器的修正值①

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25
6	1.25	1.25	1.25	1.26	1.26	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27
7	1.28	1.28	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.31	1.31	1.32
8	1.32	1.33	1.33	1.34	1.34	1.35	1.35	1.36	1.37	1.37
9	1.38	1.39	1.39	1.40	1.41	1.41	1.42	1.43	1.43	1.44
10	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52	1.53
11	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62
12	1.63	1.64	1.65	1.66	1.67	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73
13	1.74	1.75	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.83	1.84	1.85
14	1.86	1.88	1.89	1.90	1.92	1.93	1.94	1.96	1.97	1.99
15	2.00	2.01	2.03	2.04	2.06	2.07	2.09	2.10	2.12	2.13
16	2.15	2.16	2.18	2.19	2.21	2.22	2.24	2.26	2.27	2.29
17	2.30	2.32	2.34	2.35	2.37	2.39	2.40	2.42	2.44	2.46
18	2.47	2.49	2.51	2.53	2.54	2.56	2.58	2.60	2.62	2.64
19	2.65	2.67	2.69	2.71	2.73	2.75	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	3.03
21	3.05	3.07	3.09	3.11	3.13	3.15	3.17	3.19	3.22	3.24
22	3.26	3.28	3.30	3.32	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.46
23	3.48	3.50	3.53	3.55	3.57	3.59	3.62	3.64	3.66	3.69
24	3.71	3.74	3.76	3.78	3.81	3.83	3.86	3.88	3.90	3.93
25	3.95	3.98	4.00	4.03	4.05	4.08	4.10	4.13	4.15	4.18
26	4.20	4.23	4.26	4.28	4.31	4.33	4.36	4.39	4.41	4.44
27	4.47	4.49	4.52	4.55	4.57	4.60	4.63	4.65	4.68	4.71
28	4.73	4.76	4.79	4.82	4.85	4.87	4.90	4.93	4.96	4.99
29	5.01	5.04	5.07	5.10	5.13	5.16	5.18	5.21	5.24	5.27
30	5.30	5.33	5.36	5.39	5.42	5.45	5.48	5.51	5.54	5.57
31	5.60	5.63	5.66	5.69	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.87
32	5.90	5.93	5.96	6.00	6.03	6.06	6.09	6.12	6.15	6.18
33	6.22	6.25	6.28	6.31	6.34	6.38	6.41	6.44	6.47	6.50
34	6.54	6.57	6.60	6.63	6.67	6.70	6.73	6.77	6.80	6.83
35	6.87									

① 表中第一行为整数度以下的分度值，例水的温度为 5.5℃时 1000ml 量器的修正值为 1.24ml。

表 4-14　适用于由体热膨胀系数为 $15\times10^{-6}K^{-1}$ 的玻璃（如中性玻璃）制成的，标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32
6	1.32	1.32	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.34	1.34
7	1.34	1.35	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.37	1.37	1.38
8	1.38	1.39	1.39	1.40	1.40	1.41	1.41	1.42	1.42	1.43
9	1.43	1.44	1.45	1.45	1.46	1.47	1.47	1.48	1.49	1.49
10	1.50	1.51	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55	1.56	1.57
11	1.58	1.59	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
12	1.67	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.74	1.76	1.77
13	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.85	1.86	1.87	1.88
14	1.89	1.91	1.92	1.93	1.95	1.96	1.97	1.98	2.00	2.01

续表

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	2.02	2.04	2.05	2.07	2.08	2.09	2.11	2.12	2.14	2.15
16	2.17	2.18	2.20	2.21	2.23	2.24	2.26	2.27	2.29	2.30
17	2.32	2.34	2.35	2.37	2.38	2.40	2.42	2.43	2.45	2.47
18	2.48	2.50	2.52	2.53	2.55	2.57	2.59	2.60	2.62	2.64
19	2.66	2.68	2.70	2.71	2.73	2.75	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02
21	3.04	3.06	3.08	3.10	3.12	3.14	3.16	3.19	3.21	3.23
22	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44
23	3.47	3.47	3.51	3.53	3.55	3.58	3.60	3.62	3.65	3.67
24	3.69	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83	3.86	3.88	3.90
25	3.93	3.95	3.98	4.00	4.03	4.05	4.08	4.10	4.12	4.15
26	4.17	4.20	4.23	4.25	4.28	4.30	4.33	4.35	4.38	4.40
27	4.43	4.46	4.48	4.51	4.54	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67
28	4.69	4.72	4.75	4.78	4.80	4.83	4.86	4.89	4.91	4.94
29	4.97	5.00	5.03	5.05	5.08	5.11	5.14	5.17	5.19	5.22
30	5.25	5.28	5.31	5.34	5.37	5.40	5.42	5.45	5.48	5.51
31	5.54	5.57	5.60	5.63	5.66	5.69	5.72	5.75	5.78	5.81
32	5.84	5.87	5.90	5.93	5.96	6.00	6.03	6.06	6.09	6.12
33	6.15	6.18	6.21	6.24	6.28	6.31	6.34	6.37	6.40	6.44
34	6.47	6.50	6.53	6.56	6.60	6.63	6.66	6.69	6.73	6.76
35	6.79									

表 4-15　适用于由体热膨胀系数为 $25\times10^{-6}K^{-1}$ 的玻璃制成的，标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
6	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47
7	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.49	1.50
8	1.50	1.50	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54
9	1.54	1.55	1.55	1.56	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59
10	1.60	1.61	1.61	1.62	1.63	1.63	1.64	1.65	1.65	1.66
11	1.67	1.68	1.68	1.69	1.70	1.71	1.72	1.73	1.73	1.74
12	1.75	1.76	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84
13	1.85	1.86	1.87	1.88	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94
14	1.95	1.97	1.98	1.99	2.00	2.01	2.03	2.04	2.05	2.06
15	2.07	2.09	2.10	2.11	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19
16	2.21	2.22	2.23	2.25	2.26	2.28	2.29	2.30	2.32	2.33
17	2.35	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.44	2.46	2.47	2.49
18	2.50	2.52	2.54	2.55	2.57	2.58	2.60	2.62	2.63	2.65
19	2.67	2.68	2.70	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.94	2.96	2.97	2.99	3.01
21	3.03	3.05	3.07	3.09	3.11	3.13	3.15	3.17	3.19	3.21
22	3.23	3.25	3.27	3.29	3.31	3.33	3.35	3.37	3.39	3.41
23	3.44	3.46	3.48	3.50	3.52	3.54	3.56	3.59	3.61	3.63
24	3.65	3.67	3.70	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83	3.86
25	3.88	3.90	3.93	3.95	3.97	4.00	4.02	4.04	4.07	4.09
26	4.12	4.14	4.16	4.19	4.21	4.24	4.26	4.29	4.31	4.34
27	4.36	4.39	4.41	4.44	4.46	4.49	4.51	4.54	4.56	4.59

续表

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
28	4.62	4.64	4.67	4.69	4.72	4.75	4.77	4.80	4.83	4.85
29	4.88	4.91	4.93	4.96	4.99	5.01	5.04	5.07	5.10	5.12
30	5.15	5.18	5.21	5.24	5.26	5.29	5.32	5.35	5.38	5.40
31	5.43	5.46	5.49	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.66	5.69
32	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.87	5.90	5.93	5.96	5.99
33	6.02	6.05	6.08	6.11	6.14	6.17	6.20	6.24	6.27	6.30
34	6.33	6.36	6.39	6.42	6.45	6.48	6.52	6.55	6.58	6.61
35	6.64									

表 4-16 适用于由体热膨胀系数为 $30\times10^{-6}K^{-1}$的玻璃（如钠钙玻璃）制成的，标称容量为 1 000ml 的量器的修正值

水的温度 t/℃	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
6	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	1.54	1.54
7	1.54	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56
8	1.56	1.56	1.57	1.57	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
9	1.60	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64
10	1.65	1.66	1.66	1.67	1.67	1.68	1.69	1.69	1.70	1.71
11	1.71	1.72	1.73	1.74	1.74	1.75	1.76	1.77	1.78	1.78
12	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84	1.84	1.85	1.86	1.87
13	1.88	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97
14	1.98	2.00	2.01	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.08	2.09
15	2.10	2.11	2.12	2.14	2.15	2.16	2.17	2.19	2.20	2.21
16	2.23	2.24	2.25	2.27	2.28	2.29	2.31	2.32	2.34	2.35
17	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.44	2.45	2.47	2.48	2.50
18	2.51	2.53	2.54	2.56	2.58	2.59	2.61	2.62	2.64	2.66
19	2.67	2.69	2.71	2.72	2.74	2.76	2.78	2.79	2.81	2.83
20	2.84	2.86	2.88	2.90	2.92	2.93	2.95	2.97	2.99	3.01
21	3.03	3.05	3.06	3.08	3.10	3.12	3.14	3.16	3.18	3.20
22	3.22	3.24	3.26	3.28	3.30	3.32	3.34	3.36	3.38	3.40
23	3.42	3.44	3.46	3.48	3.50	3.53	3.55	3.57	3.59	3.61
24	3.63	3.65	3.68	3.70	3.72	3.74	3.76	3.79	3.81	3.83
25	3.85	3.88	3.90	3.92	3.95	3.97	3.99	4.01	4.04	4.06
26	4.09	4.11	4.13	4.16	4.18	4.20	4.23	4.25	4.28	4.30
27	4.33	4.35	4.38	4.40	4.42	4.45	4.47	4.50	4.52	4.55
28	4.58	4.60	4.63	4.65	4.68	4.70	4.73	4.76	4.78	4.81
29	4.83	4.86	4.89	4.91	4.94	4.97	4.99	5.02	5.05	5.07
30	5.10	5.13	5.16	5.18	5.21	5.24	5.27	5.29	5.32	5.35
31	5.38	5.41	5.43	5.46	5.49	5.52	5.55	5.58	5.61	5.63
32	5.66	5.66	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.87	5.90	5.93
33	5.96	5.99	6.02	6.05	6.08	6.11	6.14	6.17	6.20	6.23
34	6.26	6.29	6.32	6.35	6.38	6.41	6.44	6.47	6.51	6.54
35	6.57									

二、玻璃量器的最大允许公差

表 4-17　标准温度 20℃ 时标准容量允差[1]

容量 V/ml	标准容量允差，±ml													
	无塞滴定管 具塞滴定管 微量滴定管		吸量管							容量瓶		量筒		量杯
			单标线者		有分度和无分度有二标线者									
					完全流出式		不完全流出式		吹出式					
	A 级	B 级	A 级	B 级	A 级	B 级	A 级	B 级		A 级	B 级	量入式	量出式	
2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.60	1.20	10.0	20.0	—
1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	0.80	5.0	10.0	10.0
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.25	0.50	2.5	5.0	6.0
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.30	1.0	2.0	3.0
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	0.30	—	—	—
100	0.10	0.20	0.080	0.160	—	—	—	—	—	0.10	0.20	0.5	1.0	1.5
50	0.05	0.10	0.050	0.100	0.100	0.200	0.100	0.200	—	0.05	0.10	0.25	0.5	1.0
40	—	—	—	—	0.100	0.200	0.100	0.200	—	—	—	—	—	—
25	0.05	0.10	0.030	0.060	0.100	0.200	0.100	0.200	—	0.03	0.06	0.25	0.5	—
20	—	—	0.030	0.060	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5
15	—	—	0.025	0.050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	0.025	0.05	0.020	0.040	0.050	0.100	0.050	0.100	0.100	0.02	0.04	0.1	0.2	0.4
5	0.01	0.02	0.015	0.030	0.025	0.050	0.025	0.050	0.050	0.02	0.04	0.05	0.1	0.2
4	—	—	0.015	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	0.015	0.030	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	0.01	0.02	0.010	0.020	0.012	0.025	0.012	0.025	0.025	—	—	—	—	—
1	0.01	0.02	0.007	0.015	0.008	0.015	0.008	0.015	0.015	—	—	—	—	—
0.5	—	—	—	—	—	—	—	0.010	0.010	—	—	—	—	—
0.25	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.008	—	—	—	—	—
0.20	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.006	—	—	—	—	—
0.10	—	—	—	—	—	—	—	0.003	0.004	—	—	—	—	—

①参考中华人民共和国国家标准　GB 12803—12808-91，GB/T 12809—12810-91，国家技术监督局发布，北京：中国标准出版社，1991.

第三节　温度计的校正

一、1990 年国际温标（ITS—90）

1990 年国际温标（The International Temperature Scale of 1990，ITS—90）是根据 1987 年第 18 届国际计量大会第 7 号决议和 1989 年第 77 届国际计量委员会通过，从 1990 年 1 月 1 日起在全世界实行。本温标替代原 1968 年国际实用温标（IPTS—68，1975 年修订版）和 1976 年 0.5K 到 30K 暂行温标，我国国家技术监督局〔1990〕553 号文规定，我国于 1994 年 1 月 1 日起全面实施 ITS—90 国际温标。

（一）温度单位

热力学温度（符号为 T）是基本的物理量，其单位为开尔文（符号为 K），定义为水三相点的热力学温度的 1/273.16。

由于在以前的温标定义中，使用了与 273.15K（冰点）的差值表示温度，因此，现在仍

保留这种方法。用这种方法表示的热力学温度称为摄氏温度（符号为 t），定义为：

$$t/℃=T/\mathrm{K}-273.15$$

摄氏温度的单位为摄氏度（符号为℃），根据定义，它的大小等于开尔文，温差可以用开尔文或摄氏度来表示。

1990 年国际温标（ITS—90）同时定义国际开尔文温度（符号为 T_{90}）和国际摄氏温度 t_{90}。T_{90}与 t_{90}之间的关系为：

$$t_{90}/℃=T_{90}/\mathrm{K}-273.15$$

物理量 T_{90}的单位为开尔文（符号为 K），而 t_{90}的单位为摄氏度（符号为℃），与热力学温度 T 和摄氏温度 t 一样。

（二）1990 年国际温标（ITS-90）的定义

0.65K 到 5.0K 之间，T_{90}由^{3}He 和^{4}He 的蒸汽压与温度的关系式定义。

由 3.0K 到氖三相点（24.5561K）之间，T_{90}是用氦气体温度计定义的。它使用三个定义固定点及利用规定的内插方法来分度。这三个定义固定点是可以实验复现，并具有给定值。

平衡氢三相点（13.8033K）到银凝固点（961.78℃）以上，T_{90}借助于一个定义点和普朗克辐射定律来定义。

表 4-18　ITS—90 定义固定点

序　号	温　度		物　质[1]	状　态[2]	$W_r(T_{90})$
	T_{90}/K	t_{90}/℃			
1	3～5	−270.15～−268.15	He	V	
2	13.8033	−259.3467	e−H_2	T	0.001 190 07
3	～17	～−256.15	e−H_2（或 He）	V（或 G）	
4	～20.3	～−252.85	e−H_2（或 He）	V（G）	
5	24.5561	−248.5939	Ne	T	0.008 449 74
6	54.3584	−218.7961	O_2	T	0.091 718 04
7	83.8058	−189.3442	Ar	T	0.215 859 75
8	234.3156	−38.8344	Hg	T	0.844 142 11
9	273.16	0.01	H_2O	T	1.000 000 00
10	302.9146	29.7646	Ga	M	1.118 138 89
11	429.7485	156.5985	In	F	1.600 801 85
12	505.078	231.928	Sn	F	1.892 797 68
13	692.677	419.527	Zn	F	2.568 917 30
14	933.473	660.323	Al	F	3.376 008 60
15	1234.93	961.78	Ag	F	4.286 420 53
16	1337.33	1064.18	Au	F	
17	1357.77	1084.62	Cu	F	

① 除^{3}He 外，其他物质均为自然同位素成分；

e-H_2 为正、仲分子态处于平衡浓度时的氢。

② 对于这些不同状态的定义，以及有关复现这些不同状态的建议，可参阅"ITS-90 补充资料"。

表中各符号的含意为：

V——蒸汽压点；

T——三相点，在此温度下，固、液和蒸汽相呈平衡；

G——气体温度计点；

M，F——熔点和凝固点，在 101325Pa 压力下，固、液相的平衡温度。

ITS—90 的定义固定点列于表 4-18。大部分定义固定点的压力对温度影响列于表 4-19，压力效应是由于敏感元件有一定的浸没深度或其他原因所引起的。其详细的内插公式请参阅国家技术监督局计量司编的《1990 国际温标宣贯手册》（中国计量出版社 1990 年 12 月出版）。

表 4-19　压力对一些定义固定点温度值的影响[①]

物　质	平衡温度的给定值 T_{90}/K	温度对压力的变率 (dT/dP) / $(10^{-8}K \cdot Pa^{-1})$[②]	温度对深度的变率 (dT/dl) / $(10^{-3}K \cdot m^{-1})$[③]
平衡氢三相点	13.8033	34	0.25
氖三相点	24.5561	16	1.9
氧三相点	54.3584	12	1.5
氩三相点	83.8058	25	3.3
汞三相点	234.3156	5.4	7.1
水三相点	273.16	−7.5	−0.73
镓熔点	302.9146	−2.0	−1.2
铟凝固点	429.7485	4.9	3.3
锡凝固点	505.078	3.3	2.2
锌凝固点	692.677	4.3	2.7
铝凝固点	933.473	7.0	1.6
银凝固点	1234.93	6.0	5.4
金凝固点	1337.33	6.1	10
铜凝固点	1357.77	3.3	2.6

① 对于熔点和凝固点，参考压力为标准大气压（P_0=101325Pa）；
对于三相点，压力效应仅来源于容器中液体的静压力。

② 相当于每标准大气压的毫升数。

③ 相当于每米液柱的毫升数。

ITS—90 实施后，1968 年国际实用温标（IPTS—68）所测得的 T_{68}值与相应的 T_{90}值之间有明显的数值差，其值见表 4-20。

表 4-20　ITS—90 与 EPT—76 和 ITS—90 与 IPTS—68 的温度差值

$(T_{90}-T_{76})$，$(T_{90}-T_{68})$ 和 $(t_{90}-t_{68})$

					$(T_{90}-T_{76})$/mK					
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0						−0.1	−0.2	−0.3	−0.4	−0.5
10	−0.6	−0.7	−0.8	−1.0	−1.1	−1.3	−1.4	−1.6	−1.8	−2.0
20	−2.2	−2.5	−2.7	−3.0	−3.2	−3.5	−3.8	−4.1		
					$(T_{90}-T_{68})$/K					
T_{90}/K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10					−0.006	−0.003	−0.004	−0.006	−0.008	−0.009
20	−0.009	−0.008	−0.007	−0.007	−0.006	−0.005	−0.004	−0.004	−0.005	−0.006
30	−0.006	−0.007	−0.008	−0.008	−0.008	−0.007	−0.007	−0.007	−0.006	−0.006
40	−0.006	−0.006	−0.006	−0.006	−0.006	0.007	−0.007	−0.007	−0.006	−0.006
50	−0.006	−0.005	−0.005	−0.004	−0.003	−0.002	−0.001	0.000	0.001	0.002
60	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007
70	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
80	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
90	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009
T_{90}/K	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0.009	0.011	0.013	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.012	0.012
200	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.005	0.003	0.001		
					$(t_{90}-t_{68})$/℃					
t_{90}/℃	0	−10	−20	−30	−40	−50	−60	−70	−80	−90
−100	0.013	0.013	0.014	0.014	0.014	0.013	0.012	0.010	0.008	0.008
0	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.012

续表

t_{90}/℃	$(t_{90}-t_{68})$/℃									
t_{90}/℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.000	−0.002	−0.005	−0.007	−0.010	−0.013	−0.016	−0.018	−0.021	−0.024
100	−0.026	−0.028	−0.030	−0.032	−0.034	−0.036	−0.037	−0.038	−0.039	−0.039
200	−0.040	−0.040	−0.040	−0.040	−0.040	−0.040	−0.040	−0.039	−0.039	−0.039
300	−0.039	−0.039	−0.039	−0.040	−0.040	−0.041	−0.042	−0.043	−0.045	−0.046
400	−0.048	−0.051	−0.053	−0.056	−0.059	−0.062	−0.065	−0.068	−0.072	−0.075
500	−0.079	−0.083	−0.087	−0.090	−0.094	−0.098	−0.101	−0.105	−0.108	−0.112
600	−0.115	−0.118	−0.122	−0.125①	−0.08	−0.03	0.02	0.06	0.11	0.16
700	0.20	0.24	0.28	0.31	0.33	0.35	0.36	0.36	0.36	0.35
800	0.34	0.32	0.29	0.25	0.22	0.18	0.14	0.10	0.06	0.03
900	−0.01	−0.03	−0.06	−0.08	−0.10	−0.12	−0.14	−0.16	−0.17	−0.18
1000	−0.19	−0.20	−0.21	−0.22	−0.23	−0.24	−0.25	−0.25	−0.26	−0.26
t_{90}/℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1000		−0.26	−0.30	−0.035②	−0.039②	−0.044②	−0.49	−0.54	−0.60	−0.66
2000	−0.72	−0.79	−0.85	−0.93	−1.00	−1.07	−1.15	−1.24	−1.32	−1.41
3000	−1.50	−1.59	−1.69	−1.78	−1.89	−1.99	−2.10	−2.21	−2.32	−2.43

①在 t_{90}=630.6℃处，$(t_{90}-t_{68})$ 一阶导数出现不连续，即 $(t_{90}-t_{68})$ =−0.125℃。

②原文有误，系−0.035、−0.039 和−0.044——译者。

二、实验室玻璃温度计的校正

（一）玻璃液体温度计的准确度

这类温度计的特点是感温液体与显示部分（标尺）组成一个不可分离的整体。一旦制成就不能再进行刻度调整。它根据显示部分的分度值分为 9 种，见表 4-21。不同分度值的温度计有不同的允许误差，见表 4-22。

表 4-21　温度计分度表（℃）

分　度　值	修正值保留末位所在位数（分度值的十分位）	保留末位上一个单位数值（分度值的十分之一）	修约的舍入界限值（分度值十分之一的 0.5 倍）
0.01	千　分　位	0.001	0.0005
0.02	千　分　位	0.002	0.001
0.05	千　分　位	0.005	0.0025
0.1	百　分　位	0.01	0.005
0.2	百　分　位	0.02	0.01
0.5	百　分　位	0.05	0.025
1	十　分　位	0.1	0.05
2	十　分　位	0.2	0.1
5	十　分　位	0.5	0.25

从表 4-20 中可以看出，在−100℃～600℃范围内 ITS—90 与 IPTS—68，除 0℃未变化外，其余各点温度均有变化，最小差值为 0.002℃，最大差值为 0.115℃。因此，ITS—90 实施后，生产的温度计，必须按 t_{90}进行定点分度，其示值允许误差按检定规程的规定值要求。对 ITS-90 实施之前，生产的温度计，则要根据 $t_{90}-t_{68}$的差值，将示值允许误差单方向平移后，再进行判别，其 $t_{90}-t_{68}=\Delta$ 见表 4-23。

表 4-22　温度计的允许误差

温度计上限温度 t/℃	精密温度计				普通温度计				
	分度值 t/℃								
	0.1	0.2	0.5	1	0.5	1	2	5	10
	允许零点上升值 t/℃								
100	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	—
200	0.08	0.08	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	—
300	0.16	0.16	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	1
400	—	0.30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	2

感温液体	温度计上限或下限所在温度范围 t/℃	精密温度计		普通温度计		
		分度值 t/℃				
		0.1	0.2	0.5	1	2
		示值允许误差 t/℃				
有机液体	−100～−61	±1.0	±1.0	±1.5	±2.0	—
	−60～−31	±0.6	±0.8	±1.0	±2.0	—
	−30～−1	±0.4	±0.6	±1.0	±1.0	—
	0～100		—	±1.0	±1.0	—
水银	−30～−1	±0.2	±0.4	±0.5	±1.0	±2.0
	0～100	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±2.0
	101～200	±0.4	±0.5	±1.0	±1.5	±3.0
	201～300	±0.6	±0.7	±1.0	±2.0	±3.0
	301～400	—	±1.0	±1.5	±3.0	±4.0

表 4-23　$t_{90}-t_{68}$的差值(Δ)(℃)

温度	$t_{90}-t_{68}=\Delta$		温度	$t_{90}-t_{68}=\Delta$		温度	$t_{90}-t_{68}=\Delta$	
	一等标准水银温度计	二等标准水银温度计		一等标准	二等标准		一等标准	二等标准
−60	—	+0.01	85	−0.0225	—	300	−0.04	−0.04
−50	—	+0.01	90	−0.025	−0.02	310	—	−0.04
−40	—	+0.01	95	−0.025	—	320	—	−0.04
−30	+0.01	+0.01	100	−0.025	−0.03	330	—	−0.04
−20	0.00	0.00	110	−0.03		340	—	−0.04
−10	0.00	0.00	120	−0.03		350	—	−0.04
0	0.00	0.00	130	−0.03		360	—	−0.04
5	0.000	—	140	−0.03		370	—	−0.04
10	0.000	0.00	150	−0.04		380	—	−0.045
15	−0.005	—	160	−0.04		390	—	−0.05
20	−0.005	−0.005	170	−0.04		400	—	−0.05
25	−0.005	—	180	−0.04		410	—	−0.05
30	−0.005	−0.01	190	−0.04		420	—	−0.05
35	−0.010	—	200	−0.04		430	—	−0.06
40	−0.010	−0.01	210	−0.04		440	—	−0.06
45	−0.010	—	220	−0.04		450	—	−0.06
50	−0.015	−0.01	230	−0.04		460	—	−0.065
55	−0.015	—	240	−0.04		470	—	−0.07
60	−0.015	−0.02	250	−0.04		480	—	−0.07
65	−0.015	—	260	−0.04		490	—	−0.075
70	−0.020	−0.02	270	−0.04		500	—	−0.08
75	−0.020	—	280	−0.04				
80	−0.020	−0.02	290	−0.04				

（二）使用温度计的浸没深度

在使用温度计时，应按规定的浸没深度垂直固定在恒温槽盖的小孔中。对半浸温度计，必须使液面在温度计上所刻的液面线处，而对于全浸温度计则应使露出液柱不大于 10mm，如果无法全浸，应按下式计算露出液柱修正值 δ(用℃表示)，并加入示值中：

$$\delta=rn(t-t_1)$$

式中 r——温度计内液体的视膨胀系数(水银为 0.00016、酒精为 0.00103、煤油为 0.00093)；

n——露出液柱的度数；

t——标准温度计测得的恒温槽中介质的实际温度；

t_1——借助辅助温度计测得的露出液柱的平均温度(辅助温度计的水银球应放置在露出液柱部分的中间。为测得温度的恒定，应等待 10min～15min 后读数)。

（三）温度计的零点和沸点的校正

(1)零点的校正　取三个直径不同的圆桶，最小的以蒸馏水洗净，加入碎冰后用有小孔的橡皮塞塞紧，将小桶放入中号桶中央，空隙装满碎小冰块，中号桶与大桶之间填棉花作保温层，将欲校正的温度计插入橡皮塞孔中，露出零点于塞外，塞紧橡皮塞而观察其零点，如有移差应根据所观察之刻度予以校正。

(2)沸点的校正　取经过零点校正的温度计，将其放入蒸馏水中，根据其不同气压❶ 时的沸点，测定其温度的刻度。

100℃温度计：

大气压 P/mmHg	水的沸点 t/℃	大气压 P/mmHg	水的沸点 t/℃
750	99.63	765	100.18
755	99.81	770	100.37
760	100.00		

（四） 刻度的校正

取符合零点及沸点的温度计二支作为标准温度计，与被校正的温度计同时插在恒温的溶液中（溶液可以是水、甘油、变压器油等）使温度均匀上升，每订正一点时须保持（5～10）min，一般（0～100)℃温度计校正 20 点，取二支标准温度计之平均值与被校温度计之差，作为被校温度计的订正值。如订正值超过 0.3℃，则该温度计不能用于精确的试验中。

（五） 借助于纯化合物的熔点以校正温度计

纯化合物（又称标准化合物）的熔点、沸点、结晶点都经准确的测定。因此可将被校正的温度计放到纯化合物中观察其熔点（或沸点、结晶点）的温度，对温度计进行校正。也可以测定几种不同熔点（或沸点、结晶点）的纯化合物的熔点（或沸点、结晶点），以测得值作纵坐标，测得值与应有值的差数为横坐标作图，得到一条校正曲线，供以后换算成准确熔点（或沸点、结晶点）之用。常用的纯化合物及其熔点、沸点、结晶点见表 4-24。

表 4-24　用以校准温度计和温差电偶的定点[1]

缩写和符号的含义：沸——760mmHg 之下的沸点；　凝——凝固点；

晶——结晶点；　P——压力，mmHg 数；

转——转换点；　平——在标准气压下凝相和气相的平衡点

熔——熔点。

---

❶ 由于实验所用为水银柱温度计，为保其实验值的真实可靠性这里仍使用 mmHg 为压力的计算单位，1mmHg＝7.50064×10⁻³Pa。

续表

物质	点	摄氏热力学温标的度数,℃	压力改正数
氧	平	−182.97	$+0.0126(P-760)$ $-0.0000065(P-760)^2$
异戊烷	晶	−159.9	
甲基环已烷	晶	−126.6	
乙醚	快晶或慢熔	−116.3	
二硫化碳	晶	−111.6	
乙酸乙酯	晶	−83.6	
二氧化碳(固)	平	−78.51	$+0.01595(P-760)$ $-0.000011(P-760)^2$
三氯甲烷	晶	−63.5	
正辛烷	凝	−56.8	
间二甲苯	凝	−47.9	
氯化苯	晶	−45.2	
汞	晶	−38.87	
溴苯	凝	−30.6	
四氯化碳	晶	−22.9	
冰	熔	0.0000	(水、冰、汽三相点 0.01℃)
苯	晶	5.5	
二溴乙烯$(CH_2Br)_2$	晶	9.9	
铬酸钠($Na_2CrO_4\cdot10H_2O$)	转	19.525	
乙酰苯	熔	19.6	
二苯醚	熔	26.9	
异戊烷	沸	27.9	$+0.038(P-760)$
硫酸钠($Na_2SO_4\cdot10H_2O$)	转	32.384	
乙醚	沸	34.6	$+0.038(P-760)$
对甲苯胺	熔	43.7	
二苯甲酮	熔	48.1	
萘胺-[1]	熔	50	
溴化钠($NaBr\cdot2H_2O$)	转	50.67	
丙酮	沸	56.2	$+0.04(P-760)$
二氯化锰($MnCl_2\cdot4H_2O$)	转	58.09	
三氯甲烷	沸	61.3	
偶氮苯②	熔	69	
四氯化碳	沸	76.7	$+0.044(P-760)$
乙醇	沸	78.26	$+0.034(P-760)$
苯	沸	80.1	$+0.043(P-760)$
萘	熔	80.3	
香草醛②	熔	83	
水蒸气	凝	100.00	$+0.0367(P-760)$ $-2.3\times10^{-5}(P-760)^2$
甲苯	沸	110.6	$+0.046(P-760)$
氯化钾	熔	770.3	
氯化钠	熔	800.4	
硫酸钠	熔	884.7	
银	晶	960.8	
金	晶	1063	
硫酸钾	熔	1069.1	

物质	点	摄氏热力学温标的度数,℃	压力改正数
铜	晶	1083	
硅酸锂	熔	1202	
乙酰苯胺②	熔	116	
苯甲酸	熔	122.4	
正辛烷	沸	125.6	$+0.047(P-760)$
二溴乙烯	沸	131.7	$+0.048(P-760)$
非那西丁②	熔	136	
间二甲苯	沸	139.1	$+0.049(P-760)$
异丙基苯	沸	152.4	$+0.051(P-760)$
溴苯	沸	154.2	$+0.053(P-760)$
铟	熔	156.61	
水杨酸	熔	159.8	
磺胺②	熔	166	
苯胺	沸	184.51	$+0.051(P-760)$
邻甲苯胺	沸	199.7	$+0.058(P-760)$
磺胺二甲嘧啶②	熔	200	
对甲苯胺	沸	200.6	$+0.054(P-760)$
乙酰苯	沸	202.0	$+0.055(P-760)$
硝基苯	沸	210.9	
蒽	熔	216	
萘	沸	218	$+0.055(P-760)$
糖精钠②	熔	229	
锡	晶	231.91	
咖啡因②	熔	237	
喹啉	沸	237.2	$+0.057(P-760)$
氮芴	熔	246	
二苯醚	沸	258.3	
酚酞②	熔	265	
蒽醌	熔	285	
二苯胺	沸	302	
二苯甲酮	沸	305.9	$+0.064(P-760)$
镉	晶	321.03	
铅	晶	327.3	
汞	沸	356.58	
重铬酸钾	熔	397.5	
锌	晶	419.505	
硫	凝	444.60	$+0.0909(P-760)$ $-4.8\times10^{-5}(P-760)^2$
硫酸钾	转	583.0	
锑	晶	630.5③	
氯化钠-硫酸钠(30.5%NaCl-69.5%Na_2SO_4)	熔、平	637.0	
铝(99.85%)	晶	660.1	
镍	熔或晶	1453	
钴	熔	1492	
钯	晶	1552	
铂	熔	1769	
铑	熔	1960	
铱	熔	2443	
钨	熔	3380	

① 此表温度为 t_{68}，其 t_{90} 按表 4-20 进行换算；表中压力为 mmHg，1mmHg=7.50064×10^{-3}Pa。

② 这 9 种化合物是卫生部规定的检定药品校正温度计用的。

③ 校定电阻温度计时用的近似值。

第五章　各类分析试样的采集、保存与制备

第一节　水样的采集与保存

水样的采集与保存是水化学研究工作的重要部分，使用正确的采样方法及很好地保存样品，是使分析结果正确反映水中被测组分真实含量的必要条件。因此，在任何情况下都必须严格遵守取样规则，以保证分析数据可靠。

供分析用的水样应该能够代表该水的全面性，水样采集的方法、次数、深度、时间等都由采样分析的目的来决定。

一、取样注意事项

(1) 水样的体积取决于分析项目、所需精度及水的矿化度等，通常应超过各项测定所需水样总体积的 20%～30%。一般简单分析需水（500～1 000）ml；全分析需 3 000ml；特殊测定则应根据分析的项目来确定。

(2) 盛水样的容器应使用无色硬质玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶。在取样前先用洗液——10%盐酸溶液、热肥皂水、漂白粉溶液或合成洗涤剂等任一种把玻璃瓶洗干净。玻璃瓶的塞子最好是磨口玻璃塞，也可以用橡皮塞（事先必须用 10%碳酸钠溶液煮过，再以 1+5 盐酸及水煮过，并用蒸馏水洗干净）或软木塞（用蒸馏水煮过并冲洗干净）。绝对禁止使用木料、纸团和金属制的塞子。

(3) 取样前至少用水样洗涤样瓶和塞子 3 次，取样时水应缓缓注入瓶中，不要起泡，不要用力搅动水源，并注意勿使砂石、浮土颗粒或植物杂质进入瓶中。

(4) 采取水样时，不能把瓶子完全装满，至少留有 2cm（或 10ml～20ml）的空间，以防水温或气温改变时将瓶塞挤掉。

(5) 取好水样塞好瓶塞（保证不漏水），用石蜡或火漆封瓶口。如水样运送较远，则应用纱布或绳子将瓶口缠紧，然后再以石蜡或火漆封住。

(6) 如欲采取平行分析水样，则必须在同样条件下同时取样。

(7) 采取高温泉水样时，在瓶塞上插一根内径极细的玻璃管，待水样冷却至室温后，拔出玻璃管，再密封瓶口。

二、各类水样采集的一般方法

（一）洁净水的采集

(1) 采集自来水或具有抽水设备的井水时，应先放水数分钟，使积留在水管中的杂质冲洗掉，然后才取样。

(2) 没有抽水设备的井水，应该先将水桶冲洗干净，然后再取出井水装入样瓶，或直接用水样采集瓶（图 5-1）采集。

(3) 采集河、湖表面的水样时，应该将样瓶浸入水面下（20～50）cm 处，再将水样装入瓶中。如遇水面较宽时应该在不同的地方分别采集，这样才具有代表性。

(4) 采集河、湖较深处水样时，应当用水样采集瓶。最简单方法是用一根杆子，上面用夹子固定一个取样瓶，或是用一根绳子系着一个取样瓶，将已洗净的金属块或砖石紧系瓶底，另用一根绳子系在瓶塞上，将取样瓶沉降到预定的深度时，再拉绳子打开瓶塞取样。

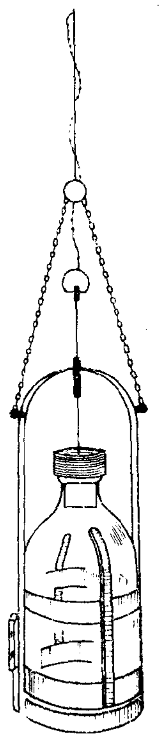


图 5-1 水样采集瓶

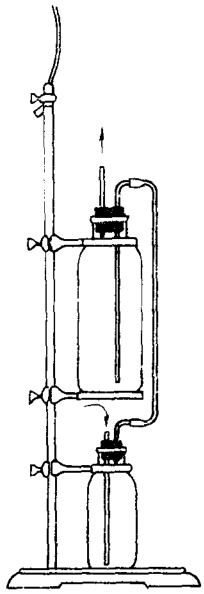


图 5-2 测定水中气体的水样采取装置

(5) 采集测定水中溶解氧的水样，则按下述方法进行，并最好使用容量为 250ml 或 300ml 溶解氧测定瓶。如果没有这种瓶，可用 250ml 磨口紧密玻璃塞试剂瓶。采集水样时，应注意不要使空气进入水样。可采用：

①采集自来水样时，要用橡皮管接在水龙头上，并把橡皮管的另一端插到瓶底部；待瓶中水样装满并向外溢出数分钟，然后取出橡皮管，迅速盖好玻璃塞。

②对于塘水、井水、蓄水池中的水样，采集时可参照图 5-2 装置一套简单的设备。先将样瓶（250 或 300ml）与一个大瓶（500ml）按图装好，并将二瓶固定起来使之便于下沉。在粗绳上标明深度。采集水样时，将取样设备投入水中，使之迅速下沉并达到所需要的深度。此时使水样进入样瓶并赶出大瓶的空气，直至大瓶不再存有空气为止。提出水面后，将样瓶取下，迅速用玻璃塞盖紧。送来的水样如果装在大瓶中，应该用虹吸方法把水样移入样瓶中。

水样采集完毕，要将样瓶编号，以免错乱。最好就地进行化学处理，使溶解氧固定（否则应保存在 4℃左右，再送到实验室）；但滴定工作可在实验室进行。

(6) 如果采集测定某些其他项目用的水样，可以根据特定要求加入保存剂。

（二）生活污水的采集

生活污水的成分复杂，变化很大，为使水样具有代表性就必须分多次采集后加以混合。一般是每小时采集一次（集水样体积可根据流量取适当的比例），将 24h 内收集的水样混合，作为代表性样品。

盛水样的瓶子须用 3 000ml 的细口瓶。最后总容量应该在（2 500～3 000）ml。水样应保

存在冰水里，温度在（4～5）℃左右。取水样的瓶子及设备要每天用清水冲洗干净，防止污水内细菌的生长。取污水后，瓶子要立刻贴好标签纸并涂上石蜡，防止标注的字褪色。

污水样采集后，应该尽快送往实验室分析。测定溶解氧、生物需氧量、余氯、硫化氢等项目，须于采样后立刻进行。如遇特殊情形，不能立刻分析，可加入保存剂。如果确定要加保存剂，最好一开始就加，使水样进入水样瓶中时即与保存剂混合。

（1）做生物化学需氧量分析的水样，不可加入任何保存剂。

（2）一般分析用的水样可于每升水中加入 5ml 氯仿（预先用蒸馏水洗（2～3）次，加少量无水硫酸镁吸水，储于棕色瓶中）作保存剂，使水样的耗氧量不至于改变。

（3）若测各类含氮化合物，可加入适量化学纯硫酸，使硫酸浓度约为 0.015mol·L^{-1}即可。但经本法处理过的水，会降低悬浮性固体及耗氧量。

（三）工业废水的采集

由于工业工艺过程的特殊情况，工业废水成分往往在几分钟内就有改变。所以水样采集方法比生活污水的采集更为复杂。

采样的方法、次数、时间等都应根据分析目的和具体条件而定。但是共同的原则是——所采集的水样有足够的代表性。如废水的水质不稳定，则应每隔数分钟取样一次，然后将整个生产过程所取的水样混合均匀。如果水质比较稳定，则可每隔（1～2）h 取样一次而后混合均匀。如果废水是间隙性排放，则应适应这种特点而取样。

水样采集时还应考虑到取水量问题，每次取水量应根据废水量按比例增减。

在测定某些特定的项目时，可以向水样中加入某种保存剂，这就视各测定项目而定。但因为成分复杂和测定项目的各不相同，任一保存剂均有产生影响的可能，没有一种普遍适用的工业废水保存剂。一般而言，低温保存比较可行。

除以上特点外，其他应注意事项同上。

表 5-1　工业废水取样方法

取样方法	方法梗概	适用范围	采用手段
一次水样采集法	在废水排放口、堰等取样位置处，对水样进行一次采集	用于生产工艺稳定和排放的水质变化不大的场合	无色硬质玻璃容器、聚乙烯塑料容器或水桶
平均水样采集法	在废水排放口、堰、治理设备的取样位置处每隔一段时间（如 1h、2h…）采集水样，然后等量混合成混合样品	用于生产工艺不稳定且排放的水质经常有变化的场合，可以获得采样期间的水质平均值	虽可利用上述手段，但很费工时，宜用自动水样采集器
动态水样采集法	在上述取样位置处于一定期间内（1 日，1 周…），每隔一定时间（如 0.5h，1h…）采集水样一次，分别对水样分析	用于了解排放的工业废水中有害物含量的动态变化规律，可获得某一时间里的水平均值，最大、最小值	宜用自动水样采集器
比例平均水样采集法	在上述取样位置处，根据排放废水流量分布曲线，按正比关系分配水样采集量，然后分析	用于生产工艺不稳定、排放口废水流量变化较大的场合，可获得采样期间的平均值	宜用与流量自动装置匹配的自动水样采集器

（四）自然降水的采集

降水样品通常由有关部门选点采集，50 万以下人口的城市设 2 个点，50 万以上人口的城市设 3 个点。采样点的布设应兼顾到城区、乡村或清洁对照点。采样点的设置应考虑区域的环境特点，尽量避开排放酸、碱物质和粉尘的局部污染源，应注意避开主要街道交通污染源的影响。采样点周围应无遮挡雨雪的高大树木或建筑物。

采集雨水可以用自动采样器，也可用聚乙烯塑料小桶（上口直径和高均为 20cm 左右）；采

集雪水的容器（聚乙烯塑料）的上口直径在40cm以上。放置位置高于基础面1.2m。

每次降雨（雪）开始，立即将备用的采样器放置在预定的采样点支架上。每次降雨取全过程雨样，一天中若有几次降雨过程就需测几次pH值。如遇连续几天降雨，则每天上午8：00测一次，即24h算一次降雨。

存放降水的容器以白色的聚乙烯塑料瓶为好，不能用带颜色的塑料瓶，也不要用玻璃瓶来装，以免在存放过程中因玻璃瓶中钾、钠、钙、镁等杂质的溶出而污染样品。

由于降水中常常含有尘埃颗粒物、微生物等微粒，所以除了测定pH值和电导值以外，一般均需过滤。但玻璃砂芯漏斗和滤纸的孔径太大，以有机微孔滤膜为好。

三、采样和分析的间隔时间

采样和分析的间隔时间越短则分析结果越可靠。对某些成分和物理数据的测定应在现场即时进行，否则在送样到实验室之前或在存放过程中可能发生改变。

采集与分析之间允许的间隔时间取决于水样的性质和保存条件，而无明确的规定。供物理化学检验用水样的允许存放时间为：

洁净的水　　72h

轻度污染的水　　48h

严重污染的水　　12h

采集与分析相隔的时间应注明于检验报告中。

如确实不能立刻分析的水样，可以加入保存剂加以保存，具体见表5-2和表5-3。

表5-2　一般水样保存方法

测定项目	要求体积 V/ml	储存用容器		保存温度	保存剂	可保存时间	备注
		塑料	玻璃				
酸度	100	+①	+	4℃冷存		24h	
碱度	100	+	+	4℃冷存		24h	
pH	25	+	+	冷至4℃ 现场测定			
温度	1 000	+	+	现场测定			
电导率	100	+	+	4℃冷存		24h	水样应恢复至25℃时测定；最好现场测定
浑浊度	100	+	+	4℃冷存		7d	
色度	50	+	+	4℃冷存		24h	
嗅	50		+	4℃冷存		24h	
味		+	+	4℃冷存		24h	
生化需氧量BOD	1 000	+	+	4℃冷存		6h	
化学需氧量COD	50	+	+		硫酸至pH<2	7d	
总有机碳TOC	25	+	+		硫酸至pH<2	7d	
悬浮物	100		+	现场过滤		6个月	
残留物可滤过	100	+	+	4℃冷存		7d	
残留物不可滤过	100	+	+	4℃冷存		7d	
残留物总量	100	+	+	4℃冷存		7d	
残留物挥发性	100	+	+	4℃冷存		7d	
沉降物	1 000	+	+	无要求		24h	
硬度	100	+	+			7d	
溶解氧（电极法）	300		+		现场测定		
Winkler法	300		+		现场固定	4h～8h	
磷化合物							
溶解性	50	+	+	现滤4℃		24h	加$HgCl_2$

续表

测定项目	要求体积 V/ml	储存用容器		保存温度	保存剂	可保存时间	备　注
		塑料	玻璃				
可水解	50	+	+	冷至4℃	硫酸至pH<2	24h	加$HgCl_2$
总　磷	50	+	+	冷至4℃		7d	加$HgCl_2$
可溶性总磷	50	+	+	现滤4℃		7d	加$HgCl_2$
氟化物	300	+		冷至4℃	NaOH至pH=12	24h	
氯化物	50	+	+			7d	
需氯量	50	+	+	现场测定		24h	
溴化物	100	+	+	冷至4℃		24h	
碘化物	100	+	+	冷至4℃		24h	
氰化物	500	+	+	冷至4℃	NaOH至pH>8	24h	
氮，氨氮	1 000	+	+	冷至4℃	硫酸至pH<2	24h	可用$>2\times10^{-4}mol\cdot L^{-1}$的$HgCl_2$，但一般不用
凯氏法	500	+	+	冷至4℃	硫酸至pH<2	24h	可用$>2\times10^{-4}mol\cdot L^{-1}$的$HgCl_2$，但一般不用
硝酸根	100	+	+	冷至4℃	硫酸至pH<2	24h	可用$>2\times10^{-4}mol\cdot L^{-1}$的$HgCl_2$；但一般不用
亚硝酸根	50	+	+	冷至4℃		24h	可用$>2\times10^{-4}mol\cdot L^{-1}$的$HgCl_2$，但一般不用
硫酸根	50	+	+	冷至4℃		7d	
硫化物	500	+	+		2ml乙酸锌	24h	
亚硫酸根	50	+	+	冷至4℃		24h	
砷	100	+	+		硝酸至pH<2	6个月	
硒	50	+	+		硝酸至pH<2	6个月	
硅	50	+		冷至4℃		7d	
铝、铜、铁、镁、锌		+	+		HCl（$2mol\cdot L^{-1}$）	2个月	
铍		+	+				
镉（溶解性）		+	+	过滤	硝酸至pH<2	6个月	
总　量					硝酸至pH<2		
铬（6价）			新硬质瓶		加硝酸至pH<2，多加5ml加	当天	
铬（总量）			新硬质瓶		硝酸至pH<2，多加5ml	当天	
汞（溶解性）	100	+	+		过滤，加硝酸至pH<2	38d（玻） 13d（塑）	
总量	100	+	+		加硝酸至pH<2	38d（玻） 13d（塑）	
钼		+	+		pH<2		
铅、银					硝酸，pH<2	2个月	
锑		+			pH<1.5	55d	
钍		+	+	过滤	pH<1.5	3个月	
钒	500	+			$0.1mol\cdot L^{-1}HCl$		
酚类	500			冷至4℃	磷酸至pH<4	24h	
三氯乙醛			+			尽快分析	
氨三乙酸（NTA）	50	+	+	至4℃		7d	
油和脂	1 000		+	至4℃	硫酸至pH<2	7d	
阴离子洗涤剂	250	+	+		硝酸至pH<2	24h	

续表

测定项目	要求体积 V/ml	储存用容器		保存温度	保存剂	可保存时间	备注
		塑料	玻璃				
有机氯农药 DDT			+		尽快分析可加入水样量 0.1%浓硫酸		过滤除浮游生物，滤纸预先用石油醚处理
3，4-苯并芘			用棕色瓶				
多环芳烃				4℃		6d	

① "+"表示可用。

表 5-3 降水样品保存方法

被测项目	保存容器	保存方法	保存时间
电导率	聚乙烯瓶	冰箱	尽快测定
pH 值	聚乙烯瓶	冰箱	尽快测定
NO_2^-	聚乙烯瓶	冰箱	尽快测定
NO_3^-	聚乙烯瓶	冰箱	尽快测定
NH_4^+	聚乙烯瓶	冰箱	尽快测定
F	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
Cl^-	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
SO_4^{2-}	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
K^+	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
Na^+	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
Ca^{2+}	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定
Mg^{2+}	聚乙烯瓶	冰箱	1 个月内测定

四、分析项目的确定

分析项目需视水样类型不同而有所区别。可供参考的项目见表 5-4。

表 5-4 水样测定参考项目

水样类型	参考项目
天然水、地面水、地下水的分析	细菌检验，显微镜观察，色，水温，大气温度，臭，味，浑浊度或透明度，总固体，溶解性固体，氯化物，耗氧量，氟化物，碘化物，pH 值，各种碱度，总硬度，氨氮，蛋白性氮（或有机氮），亚硝酸盐氮，硝酸盐氮，需氯量，铁，锰等；必要时做全矿物质分析
饮用水、自来水的分析	细菌检验，显微镜观察，色，水温，臭，味，浑浊度或透明度，总固体，氯化物，耗氧量，pH 值，各种碱度，总硬度，氨氮，蛋白性氮，亚硝酸盐氮，硝酸盐氮等；必要时做特殊矿物质分析或个别成分分析
矿泉水的分析	色，水温，大气温度，比重，臭，味，浑浊度或透明度，总固体，悬浮性固体，氯化物，耗氧量，氟化物，pH 值，各种碱度，总硬度（碳酸盐硬度及非碳酸盐硬度），游离二氧化碳，氨氮，硫化氢，其他放射性气体，钙，镁，钾，铁，铵，硫酸盐，重碳酸盐，碳酸盐，二氧化硅，亚硝酸盐，硝酸盐；必要时做其他离子的分析
游泳池水的分析	除了细菌检验外，一般只需测定浑浊度或透明度，pH 值，总余氯及游离性余氯；必要时做耗氧量，氨氮，蛋白性氮等分析
各种污水的分析	由于各种污水性质各异，分析项目也各不相同 生活污水：着重生物化学耗氧量及悬浮性固体等的测定 工业污水：还应注意洗涤剂，硼，酚，氰化物，铬，汞，砷，硒，油污等；必要时作特定离子或组分的分析 检验水处理性能时：项目考核则作全面分析，个别设备考核，可按要求只作个别测定 研究利用污水灌溉则加测磷，钾，硼

第二节 食物样品的采集与制备

一、采样方法

样品分为检样、原始样品、平均样品三种。

由整批食物的各个部分采取的少量样品称为检样。把许多份检样综合在一起称为原始样品。只能把质量相同的检样混在一起作成若干份原始样品。原始样品经过处理再抽取其中一部分作检验用者称为平均样品。将样品装入预先洗净烘干的广口瓶中，瓶签上注明名称、采样日期、交货数量、采样方法及其他应说明的情况，并由经手人签封。

表 5-5 食物样品采取的一般方法

散粒状样品（粮食及粉状食品等）	用双套回转取样管取样，每一包装须由上、中、下三层取出 3 份检样，整批的所有检样合为原始样品。用“四分法”缩分原始样品至所需数量为止，即得平均样品
稠的半固体样品	用采样器从上、中、下层分别取出检样，然后混合缩减至所需数量的平均样品
液体样品	一般采用虹吸法分层取样，每层各取 500ml 左右，装入小口瓶中混匀。也可用长形管或特制采样器采样（采样前须充分混合均匀）
小包装的样品	罐头、瓶装奶粉等连包装一起采样
鱼肉菜等组成不均匀样品	视检验目的，可由被检物有代表性的各部分（肌肉、脂肪、……，蔬菜的根、根茎、叶等）分别采样，经充分打碎、混合后成为平均样品

二、食品的采样量及注意事项

不同的分析项目所需的样品量是不相同的，需根据具体的项目要求而定。对罐装、桶装或袋装的食品，有一个取样的基数，其中部分食品的最小取样量见表 5-6。

表 5-6 部分食品的采样量及注意事项

样品	取样类型	取样量及方法
罐头食品	按生产班次	为 1/3 000，尾数超过 1 000 罐的增取 1 罐，但每班每个品种取样基数不得少于 3 罐 生产量较大时，>20 000 罐以上按 1/10 000 计，尾数超 1 000 罐者，增取 1 罐 生产量过小时，同品种、同规格可合并班次取样，并班后总数不过 5 000 罐则每班次不少于 1 罐且并班后基数不少于 3 罐
	按杀菌锅	每锅检取 1 罐，但每批每个品种不得少于 3 罐
牛乳	按桶取样数桶混合样逐日按重量	不少于 250ml。用特制搅棒以螺旋式转动搅匀后取样 (0.2～1.0) $ml \cdot kg^{-1}$，用采样管采于同一样品瓶中混匀，采集一定量并按每 100ml 样品加 1～2 滴甲醛
全脂奶粉	桶或箱包装	总数的 1%，用开口采样插杀菌后自容器的四角及中心各取一插，置于盘中搅匀，取总量的约 1‰备用
	瓶或听装	总数的 1‰同批号的堆场中按不同方位取样，但≮2 件，尾数超过 500 件的应加抽一件

三、样品的保存

采集的样品应在当天进行分析，以防止其中水分或挥发性物质的散失及其他待测物质含量的变化。如果不能立即进行分析，必须加以妥善保存。应当把样品保存在密封洁净的容器内，必要时放在避光处，但切忌使用带有橡皮垫的容器。容易腐烂变质的样品需保存在 0℃～5℃，保存时间也不宜过长，以免样品变质或待测物质的分解。

若条件允许，可采用升华干燥法（冷冻干燥法）来保存样品。样品经冷冻、高真空

[(10～40) Pa，－10℃～－30℃)] 脱水。此时食品的化学和物理结构变化极小，保存时间也很长。

四、样品的制备

为保证分析结果的正确性，对分析样品必须加以适当处理即制备。制备包括样品的分取、粉碎及混匀等过程，其具体方法因产品类别不同而异，也因测定项目的不同而不同，见表5-7和表5-8。

表5-7　常规食品样品的制备方法

样品种类	制备方法
液体、浆体或悬浮液体互不溶液体	将样品充分摇动或搅拌均匀 分离后分别采取
固体样品	切细、捣碎，反复研磨或用其他方法研细。常用绞肉机、磨粉机、研钵等
水果及其他罐头	捣碎前须清除果核。肉、禽罐头、鱼类罐头须将调味品（葱、辣椒等）分出后再捣碎。常用高速组织捣碎机等
鱼类	洗净去鳞后取肌肉部分，置纱布上控水至1min内纱布不滴水，切细混匀取样。若量大则以四分法缩分留样。备用样品贮于玻璃样品瓶中，置冰箱保存
贝类和甲壳类	洗净取可食部分（贝类需含壳内汁液）。蛤、蚬经速冻后连屑挖出，切细混匀取样，备用样品贮于玻璃样品瓶中，置冰箱保存

表5-8　测定农药残留量时样品的制备方法

粮　食	充分混匀，用四分法取20g粉碎，全部过0.4mm目筛
蔬菜和水果	先洗去泥沙并除去表面附着水。依当地食用习惯，取可食用部分沿纵轴剖开，各取四分之一，切碎，充分混匀
肉类	除去皮和骨，将肥瘦肉混合取样。每份样品在检测农药残留量的同时还应进行粗脂肪含量的测定，以便必要时分别计算农药在脂肪和瘦肉中的残留量
蛋类	去壳后全部混匀
禽类	去毛，开膛去内脏，洗净并除去表面附着水。纵剖后将半只去骨的禽肉绞成肉泥状，充分混匀。检测农药残留量的同时进行粗脂肪的测定
鱼类	每份鱼样至少三条。去鳞、头、尾及内脏，洗净并除去表面附着水，纵剖取每条的一半，去骨刺后全部绞成肉泥状，充分混匀

五、食品样品的前处理

食品样品由于其本身（蛋白质、脂肪、糖类等）对分析测定常常产生干扰，在测定前必须进行预处理。

表5-9　食品样品的预处理方法及适用范围

类　型	方　法	适用范围及条件
有机物破坏法	干法灰化 湿法消化	温度在550℃，为避免测定物质的散失，可加入固定剂 所需溶剂需视样品及检测项目而定，适用于金属离子测定

续表

类　型	方　法	适用范围及条件
蒸馏法	常压蒸馏 减压蒸馏 水汽蒸馏 分　馏 扫集共蒸馏	<90℃用水浴，>90℃用油浴、砂浴、盐浴或直接加热 适用于高沸点或热稳定性较差的物质的分离 分离较低沸点且不与水混溶的有机组份 用于分离干扰较严重且沸点差较小的组份 集蒸馏、层析等方法于一身，高效省时省溶剂，适用于测蔬菜、水果、食用油脂和乳制品中有机氯（磷）农药残留量
溶剂提取法	溶剂萃取法 浸　取　法 盐　析　法	所用溶剂由样品组成及检测项目而定 用于从混合物中提取某物质，常用索氏抽提器进行操作 常用来分离食品中的蛋白质
磺化和皂化法	磺化净化法 皂　化　法	用于处理油脂或含油脂样品以增大其亲水性，其中磺化法主要用于对酸稳定的有机氯农药，一般不用于有机磷农药 皂化法主要用于除去一些碱、稳定的农药中混入的脂肪
色谱分离法	薄层色谱法 柱色谱法	色谱分离法同时也是鉴定的方法，目前以柱色谱更常用

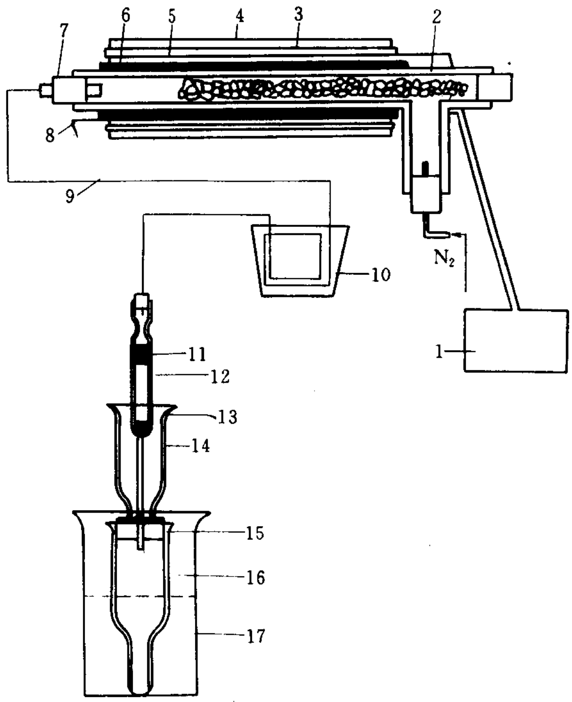


图 5-3　扫集共蒸馏装置

1—可变变压器；2—施特勒（Storheer）管（填充 12—15cm 硅烷化的玻璃棉）；3—石棉；4—绝缘套；5—加热板；6—铜管；7—硅橡胶塞；8—高温计；9—聚氯乙烯管；10—水或冰浴；11—硅烷化玻璃；12—ANAKROM ABS（一种吸附剂）4cm；13—尾接管；14—硅烷化玻璃棉；15—19～22 号标准磨口；16—离心管；17—盛水烧杯

其原理是样品抽提液用注射器从 Storheer 管的一端注入后，农药和溶剂在已加热的管内汽化，被氮气流吹入冷凝管，再通过微层析柱进入收集器内，而脂肪和色素留在 Storheer 管和微层析柱中。此法省时省溶剂。新型自动化扫集共蒸馏装置有 20 条净化通道，可在 2.5h 内净化 20 份样品提取液。

第三节　土壤样品的采集与制备

一、土壤样品的采集

土壤样品的采集方法对分析结果和评价影响很大，采样时的误差往往比分析的测定误差更大。因而，必须严格采样，保证土样具有代表性，能正确真实地反映原采样地块的土壤情况。土样采集的时间、地点、层次、方法、数量等都由土样分析的目的来决定。

1．采样前的准备工作　采样前必须了解采样地区的自然条件（母质、地形、植被、水文、气候等），土壤特征（土壤类型、层次特征、分布）及农业生产特性（土地利用、作物生长、产量、水利、化肥农药的使用情况等），是否受到污染及污染的历史与现状等情况。在调查的基础上，根据需要和可能来布设采样点，同时挑选一定面积的对照地块。

2．采样点的选择　由于土壤本身在空间分布上具有较大的不均匀性，需要在同一采样地点作多点采样，再混合均匀。当采样地点的面积不大（1 000m²～2 000m² 以内）时，可在不同方位上选择 5～10 个有代表性的采样点，采样点的分布不能太集中，通常采用下列方法（图 5-4）。

表 5-10　土壤样品采样点选择方法

方法名称	适用田块	具体方法
对角线采样法	受污染的水灌溉的田块	自该田块的进水口向对角作直线并将此对角线三等分，以每等分的中央点作采样点。可视不同情况作适当的更动
梅花形采样法	适宜于面积较小、地势平坦、土壤较均匀的田块	一般取 5～10 个采样点
棋盘式采样法	中等面积、地势平坦、地形完整、但土壤较不均匀的田块	采样点一般在 10 个以上，测定固体废物污染时需在 20 个以上
蛇形采样法	面积较大，地势不太平坦，土壤不够均匀	采样点较多

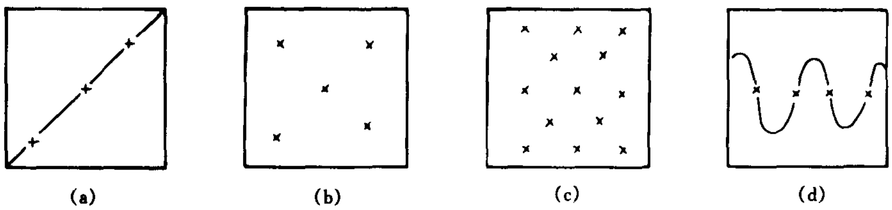


图 5-4　土壤的采样方法

(a) 对角线采样法；(b) 梅花形采样法；(c) 棋盘式采样法；(d) 蛇形采样法

3．采样深度　如果只需一般性地了解土壤受污染情况，采取深度约 15cm 的耕层土壤和耕层以下（15～30）cm 的土样。如果要了解土壤污染深度，则应按土壤剖面层次分层取样。在每个采样点上，按层垂直向下切取土壤。每个点取厚约 1cm 的土壤，且在每个点上所取的土量要基本相等，采样完毕后将各点的土样混合均匀即可。如要测定重金属，则应将和金属采样器接触部分剥去。

4. 采样时间　采样时间视测定目的而定。若为了了解土壤污染情况，则可随时采集土样测定；若为了了解在该田块上生长的植物污染状况，则可在植物收获季节同时采集土壤和植物样品。

5. 土样数量　一般要求采样 1kg 左右。由于土壤样品不均匀需多点采样而取土量较大时，应反复以四分法缩分至所需量。

6. 注意事项

（1）采样点不能选在田边、路边和肥堆边。

（2）经最后缩分所得的土样应装入塑料袋中，同时备好记有采样地点、日期、样品情况、采样人等项目的标签。

二、土壤样品的制备

1. 土样的风干　除了测定游离挥发酚等项目需用新鲜土样外，大多数项目需用风干土样，因为风干的土样较易混匀，重复性和准确性都较好。风干的方法为：将采回的土样倒在盘中，趁半干状态把土块压碎，除去植物残根等杂物，铺成薄层并经常翻动，在阴凉处使其慢慢风干。

2. 磨碎与过筛　风干后的土样，用有机玻璃棒（或木棒）碾碎后过 2mm 塑料（尼龙）筛，除去 2mm 以上的砂砾和植物残体（若砂砾量多时应计算其占土样的百分比）。然后将细土样用四分法缩分至足够量（如测重金属约需 100g），其余土样另装瓶备用。留下的样品进一步磨细过 0.25mm 孔径的塑料（尼龙）筛，充分拌匀后装瓶备用。

3. 含水量的测定　无论何种土样均需测定土样的含水量以便按烘干土为基准进行计算。可在百分之一的天平上称取土样（20～30）g，在 105℃下烘（4～5）h，干燥至恒重，计算含水量，以 $mg \cdot kg^{-1}$表示。

第四节　植物样品的采集与制备

与任何其他采样一样，采集前应对所采集对象作必要的调查，选出采样区和对照采样区，在采样区内再划出和固定一些有代表性和生长典型的小区。根据采样的次数及每次采样的数量决定预选株数或样段的数目。

一、采样的一般原则

（1）代表性　选择能代表总体的一定数量的植株为样品，采集作物或蔬菜时不能采集田埂地边及离田埂 2m 以内的样品；若采集水生植物则应注意离开污染物排放口适当距离。

（2）典型性　采样部位要能反映所需了解的情况，不能将植株部位随意混合。

（3）适时性　根据研究的需要，在植物不同的生长发育阶段，定期采样。

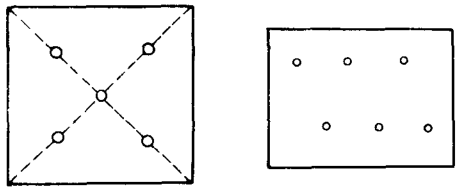
二、样品采集量

这主要需考虑样品分部位处理后是否有代表性以及是否够分析之用。一般要求至少有 1kg 干重样品。新鲜样品则按 80%～90%的水分来计算，样品量要比干重量多 50～10 倍（不少于 5kg 新鲜样品）。

三、样品的采集方法

根据研究对象在选好的样区内分别采集不同植株的根、茎、叶、果等植物的不同部位。对

于农作物、蔬菜的采集，一般在各采样小区内采取一个代表样品（在该地块中分别于5～10处，采取5～10个样品混合组成）。常以梅花形或在小五点取样，或在小区内以交叉间隔方式取样，如图5-5所示。



(a)　　　　　(b)

图5-5　梅花形和交叉间隔取样法

对一般旱作物，若采集的样品为根部，在抖掉其附着在根上的泥土时，须注意不损失其根毛部位，以尽量保持根系的完整。对水稻根系还需立即用水洗净泥土，带回室内后立即用清水洗4次，时间不超过半小时为宜（不准浸泡），洗净后用纱布擦干。

采集果树样品要注意树龄、株型、生长势、载果数量和果实着生的部位及方位。蔬菜样品中的叶菜，若用鲜样进行分析，在采集时（尤其是在夏天）植株最好连根带泥一同挖起，或用湿布将样品包住，或用塑料袋装好，不使其萎蔫。浮萍、藻类等水生植物一般采集全株，若采集点受污染较重，在除去其他水草、小螺后用清水冲洗干净。

所有植物样品都须用布口袋装好，并附上标签，同时做好采样记录，对特殊情况尤其需详细记录以备查考。

从现场采集的样品，应该立即放在干燥通风处晾干。对需用鲜样作监测的应马上送实验室进行处理和分析，当天处理不完的应暂时冷藏在冰箱里。

四、植物样品的制备

根据分析项目的不同要求，对各不同种类的原始样品用不同方法进行选取：

(1) 块根、块茎、瓜果等，切成4块或8块，各取四分之一或八分之一；

(2) 粮食　充分混匀后平铺于玻璃板或木板上，以多点取样或四分法选取。得到所需量的平均样品后再作进一步处理，制成分析样品。

1. 新鲜样品的制备　对植物中易起变化的物质（酚、氰等）及多汁的瓜果、蔬菜样品需在新鲜状态下进行分析。制备时先将平均样品洗净晾干，切碎并混合均匀，取其中100g，加入等量蒸馏水（多水样品可不加，含水少的可加两倍量水），用电动捣碎机打成均匀浆状（较软样品1min左右，较硬样品2min以上）。对纤维过多的样品（根、茎杆、叶子等）不能用捣碎机捣碎时可用剪刀或不锈钢刀切成很小碎块混合均匀供分析之用。

2. 风干样品的制备　用干样进行分析的样品，应尽快晾干（亦可用鼓风干燥箱于40℃～60℃烘干）。样品干燥后，去掉灰尘、杂物，切碎，用电动磨碎机粉碎（谷类果实先脱粒再粉碎），全部通过1mm的筛网（有些样品需过0.25mm的筛网），储存于磨口瓶中备用。

若测定样品中金属元素的含量，应该注意金属器械的污染问题，以防干扰。

五、含水量的测定

分析结果常以干重比较各样品间某成分含量，故在制备新鲜或烘干样品时须同时测定含水量。最常用的是烘干法——称取一定量的新鲜样品于（100～105）℃烘干至衡重，以失重计算含水量。

含有大量易热分解组分的样品，可在真空干燥箱中用低温烘至衡重。

含水量很高（80%～95%）的样品（浆果、幼嫩蔬菜等）在采集当时就会有相当水分蒸

发，即使水含量测定的误差很小，所引起干物质含量的误差也相当大。这类样品以鲜重计算更好，可附记水分含量以作参考。

已烘干样品在研磨和储存过程中也会吸收水分，故在称量前须烘干除去。粉状样品的物理状态与原始样品有所不同，受高温易分解，故需严格控制烘干温度和时间。通常在65℃烘(4～6) h即可。

第五节　大气样品的采集

大气样品的采集方法包括直接采样法、富集采样法和无动力采样法。

一、直接采样法

当空气中被测组分浓度较高，或所用分析方法灵敏度高而直接进样即能满足环境监测要求时，可用直接采样法。常用的采样容器有注射器、塑料袋、球胆等。

表5-11　大气样品直接采样方法

方　法	操　作　要　求
注射器采样法	先用现场空气抽洗（2～3）次后再抽样至100ml，密封进样口，回实验室分析。采样后样品不宜长时间存放，最好当天分析完毕。此法多用于有机蒸汽的采集
塑料袋采样法	用二连球打入现场空气冲洗（2～3）次后，再充满被测样品，夹紧进气口，带回实验室进行分析 所用的塑料袋不应与所采集的被测物质起化学反应，也不应对被测物质产生吸附和渗漏现象。采样时，常用的塑料袋有聚乙烯袋、聚四氟乙烯袋及聚酯袋等。为减少对待测物质的吸附，有些塑料袋内壁衬有金属膜，如衬银、铝等
真空瓶采样法	将空气中被测物质采集在预先抽成真空的玻璃瓶或玻璃采样管中。所用采样瓶（管）必须用耐压玻璃制成，容积一般为（500～1000）ml。抽真空时瓶外面应套有安全保护套，一般抽至剩余压力为1.33kPa左右即可，如瓶中预先装有吸收液，可抽至溶液冒泡为止。采样时，在现场打开瓶塞，被测空气即冲进瓶中，关闭瓶塞，带回实验室分析。采样体积为真空采样瓶（管）的体积。如果真空度达不到所要求的1.33kPa时，采样体积的计算应扣除剩余压力： $V=V_0(P-P')/P$ V——采样体积，(L)　V_0——真空采样瓶体积，(L) P——大气压力，(kPa)　P'——瓶中剩余压力，(kPa)

二、富集采样法

当空气中被测物质的浓度很低[$(1\sim10^{-3})\ mg\cdot m^{-3}$]，而所用的分析方法又不能直接测出其含量时，需用富集采样法进行空气样品的采集。富集采样的时间一般都比较长，所得的分析结果是在富集采样时间内的平均浓度。从环境保护角度看，它更能反映环境污染的真实情况，所以富集采样在空气污染监测中更有重要意义。

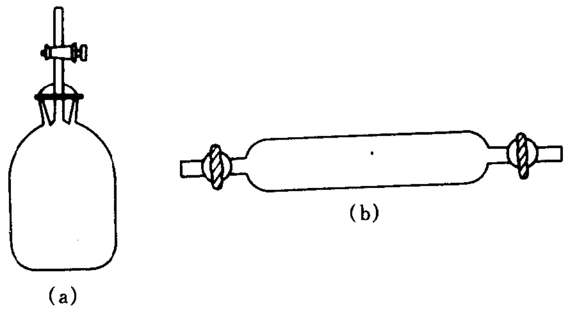


图5-6　真空采气瓶和真空采气管
(a) 真空采气瓶；(b) 真空采气管

富集采样法有溶液吸收法、固体吸收法、低温冷凝法、滤料采样法、个体剂量器法等。需根据监测目的和要求、被测物的理化性质、在空气中的存在状态、所用的分析方法等来选择。

（一）溶液吸收法

溶液吸收法是用吸收液采集空气中气态、蒸汽态样品组分以及某些气溶胶的方法。当空气样品通过吸收液时，吸收液界面上的被测物质的分子由于溶解作用或化学反应，很快地进入吸收液中。同时气泡中的气体分子因存在浓度梯度而运动速度极快，能迅速扩散到气-液界面上。因此，整个气泡中被测物质分子很快地被溶液吸收。这就是气体吸收法的原理。

理想的吸收液应是理化性质稳定，在空气中和在采样过程中自身不会发生变化，挥发性小，并能在较高气温下经受较长时间采样而无明显的挥发损失，有选择的吸收，吸收效率高，能迅速地溶解被测物质或与被测物质起化学反应。常用的吸收液有：水、水溶液、有机溶剂等。吸收液的选择需根据被测物质的理化性质及所用分析方法而定。最理想的吸收液是含有显色剂的，边采样边吸收，不仅采样后即可比色定量，而且可以控制采样的时间，使显色强度恰好在测定范围内。当用有机溶剂作吸收液时，因其挥发性大，在大流量、长时间采样时会有明显的损失，此时应添加有机溶剂至原有体积。

由于某些气溶胶的小颗粒表面附有一层蒸汽，在气泡通过液体时，小颗粒不易被捕集，同时气溶胶颗粒也不像气体分子那样很快地扩散到气-液界面上，故用气泡吸收管捕集气溶胶效率很差。补救办法为：

（1）采用冲击式吸收管——使空气以很快的速度冲击到盛有吸收液的吸收管底部，使气溶胶颗粒因惯性作用被冲击到管底，再被管中吸收液捕获。本法不适用于采集气态或蒸汽态物质。

（2）采用多孔玻板吸收管（瓶）——让空气样品通过多孔玻板，使其分散成极细的小气泡进入吸收液中，气溶胶颗粒一部分在通过多孔玻板时，被弯曲的孔道所阻留，然后进入吸收液中；一部分在通过多孔玻板后，形成很细小的气泡，被吸收液吸收。

所以多孔玻板吸收管不仅对气态或蒸汽态物质吸收效率高，而且对与其共存的气溶胶也有很高的采样效率。

（二）固体吸收法

固体吸收法是用固体吸附剂采集空气中被测物质的方法。固体吸收剂主要有颗粒状吸附剂、纤维状滤料和筛孔状滤料。

表 5-12　固体吸收的吸附剂种类

种类	构成及作用	基本性能
颗粒状吸附剂	有良好的机械强度、稳定的理化性质、强的吸附能力和容易解吸等性能。对气态和蒸汽态物质的采样靠吸附作用，而对气溶胶的采样则靠阻留作用和碰撞作用	硅胶——常用的有粗孔和中孔硅胶，细孔的少用。在100℃～200℃烘干后使用，对极性物质吸附作用强烈。吸附能力较活性炭弱，吸附容量较小，较易解吸（于350℃通清洁空气即可）
		活性炭——用于吸附非极性和弱极性有机气体和蒸汽，吸附容量大，吸附力强，对水吸附极少，适宜于有机气体和水蒸汽混合物的采集，特别适宜在浓度低、湿度高的地点长时间采样。较难解吸（需用热解吸和有机溶剂解吸法，以后者为佳）
		素陶瓷——不属多孔物质，仅靠其粗糙表面吸附，比表面小，吸附能力低，易解吸，本身性质稳定，不受酸、碱、有机溶剂等影响
		高分子多孔微球——多孔性芳香族聚合物，比表面大，有一定的机械强度，具疏水性，耐腐蚀、耐辐射、耐高温（250℃～450℃）。主要用于采集有机蒸汽，特别适于采集大分子、高沸点且有一定挥发性的蒸汽态或蒸汽态与气溶胶共存于空气中的有机化合物。常用品牌及性能见表 5-13

续表

种类	构成及作用	基　本　性　能
纤维状滤料	指由天然或合成纤维素互相重叠交织形成的材料，主要用于采样气溶胶。要求操作简便、价格便宜、携带方便、保存时间长。其作用各不相同，有直接阻截、惯性碰撞、扩散沉降、静电吸引、重力沉降等	滤纸——由纯净植物纤维素浆制成，具有机械强度好，不易破裂，价格低廉等优点。其纤维较粗，孔隙较少，通气阻力大。主要是直接阻截、惯性碰撞和扩散沉降的机理
		玻璃纤维滤膜——由纯超细玻璃纤维制成，具有耐高温（400℃～500℃）、吸湿性小、通气阻力小、采样效率高等优点，适于大流量采集低浓度被测物。因在制作过程中需添加部分某些金属元素，故这些金属元素的空白值较高，同时其机械强度低，质地疏松。其采集机理主要是直接阻截、惯性碰撞、扩散沉降
		过氯乙烯滤膜——由过氯乙烯纤维制成，粗细介于滤纸和玻璃纤维之间。其金属元素空白值低，机械强度好，但耐热性能差。其采集机理几乎包括所有作用，静电引力作用特别强
筛孔状滤料	由纤维素基质交联成筛孔，孔径均匀。结构上不同于纤维状滤料	微孔滤膜——由硝酸纤维素和少量乙酸纤维素混合制成。其采样效率高，金属元素空白值低，适宜用于采集和分析金属性气溶胶
		核孔滤膜——由聚碳酸酯薄膜覆盖铀箔后，经中子流轰击造成铀核分裂，产生的分裂碎片穿过薄膜形成微孔，再经化学腐蚀处理，得到所需大小的孔径。核孔滤膜孔径均匀、机械强度好，不亲水，适于做精密重量分析，但采样效率较低
		银滤膜——由微细的金属银粒烧结制成。孔径均匀，能耐高温，抗化学腐蚀性强，适用于采集酸、碱气溶胶及带有机溶剂性质的有机物样品

表 5-13　用于空气采样的几种高分子多孔微球

名　　称	组　　成	平均孔径① D/Å	比表面积 A/($m^2 \cdot g^{-1}$)
Amberlite XAD-2	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	90	300
Amberlite XAD-4	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	50	700～800
Chromosorb 102	二乙烯基苯-苯乙烯共聚物	85	300～400
Porapak Q	甲苯-乙烯基苯-二乙烯基苯共聚物	74.8	840
Porapak K	二乙烯基苯-苯乙烯-极性单体聚合物	75.6	547～780
Tenax GC	聚-二苯基对苯醚	720	18.6

① Å 为非法定单位，$1Å=10^{-10}m$。

所有固体吸附剂均可经化学改性（如浸渍某些化学试剂）提高采集效率。为使浸渍的吸附剂保持一定湿度以利于进行化学反应和溶解作用，往往在浸渍试剂中加入少量甘油。

（三）冷冻浓缩法

冷冻浓缩法主要用于采集低沸点物质。值得注意的是空气中的水蒸汽也被凝结在收集器中，会对测定造成误差，应设法消除。

（四）静电沉降法

此法常用于采集气溶胶。当空气样品通过（12 000～20 000）V 电压的电场时，气体分子电离所产生的离子附着于气溶胶粒子上使粒子带电，此带电粒子在电场作用下沉降到收集电极上，然后将收集电极表面沉降物质洗下分析。此法采样效率高，速度快，但仪器设备及维护要求较高，且不能在有易爆气体、蒸汽、粉尘的场合使用。

（五）个体剂量器法

个体剂量器法适于采气态和蒸汽态样，它利用被测物质分子自身的运动（扩散或渗透），到达吸收液或吸附剂表面而被吸收或被吸附，不需抽气动力。

（1）扩散法　根据 Fick 扩散第一定律，物质分子在空气中沿浓度梯度运动，其质量传递速率符合下式：

$$W=\frac{DA}{L}\quad(\rho_1-\rho_0)$$

式中　W——质量传递速度和分子扩散速度，$ng\cdot s^{-1}$；

A——扩散带的截面积，cm^2；

ρ_1——空气中被测物质的质量浓度，$ng\cdot cm^{-3}$；

D——分子扩散系数，$cm^2\cdot s^{-1}$；

L——扩散带的长度，cm；

ρ_0——介质表面被测物质的质量浓度，$ng\cdot cm^{-3}$。

$(\rho_1-\rho_0)$ 表示在整个扩散带长度 L 上的浓度变化，若所用的吸收剂能有效地吸收到达它表面的全部物质分子，则 $\rho_0=0$。此时等式两边同乘剂量器的采样时间 t，可得下式：

$$M=\frac{DA}{L}\rho_1\cdot t$$

式中　M——扩散到吸收剂上的物质总质量，ng。

公式表明剂量器采样的总质量与剂量器本身结构、被测物在空气中的浓度及分子的扩散系数、采样时间有关。对某一被测物及结构一定的剂量器而言，DA/L 是一常数——剂量器的采样速度（$cm^3\cdot s^{-1}$）。因而，吸收的总量就与被测物在空气中的浓度及采样时间有关，即：

$$\rho_1=\frac{ML}{DAt}$$

由上式可计算出空气中被测物质的浓度。

（2）渗透法　渗透法是利用被测物质分子的渗透作用来完成采样的目的。分子通过渗透膜进入吸附剂或吸收液而被吸附或吸收。其计算公式为：

$$\rho=\frac{WK}{t}$$

式中　ρ——空气中被测物质的浓度，$\mu g\cdot L^{-1}$；

K——被测物质的渗透常数，$h\cdot L^{-1}$；

W——剂量器采集到的被测物质的总量，μg；

t——采样时间，h。

其中，K 值与渗透膜材料和被测物质的性质有关，由实验求得。

三、无动力采样

无动力采样往往用于单一的某个检测项目。有过氧化铅法、碱片法采集大气中的含硫化合物，以测定大气硫酸盐化速率；石灰滤纸法采集大气中的微量氟化物；用集尘缸采样，测定灰尘自然沉降量等。

四、采样效率的评价方法

采集气态和蒸汽态样品常用溶液吸收法和填充柱固体吸附法，评价这些采样方法效率的有绝对比较法和相对比较法。

1．绝对比较法　精确配制一个已知浓度的标准气体样品，然后用所选用的采样方法采集标准气体，测定其浓度，比较实测浓度 ρ_1 和配气浓度 ρ_0，其采样效率 K 为：

$$K=\rho_1/\rho_0\times100\%$$

用本方法评价采样效率虽然比较理想，但由于配制已知浓度的标准气比较困难，在实际应用

中往往受到限制。

2. 相对比较法　配制一个恒定浓度的气体样品，而其浓度不一定要求准确已知。然后用2～3个采样管串联起来采样，分别测定各管的含量（ρ_i），计算第一管含量占各管总量的百分数，其采样效率为：

$$K=\rho_1/(\rho_1+\rho_2+\rho_3)\times100\%$$

用本方法计算采样效率时，要求第二管和第三管的浓度相对第一管是极小的，这样三个管相加之和就近似于所配气的浓度。有时还需串联更多的吸收管采样，以期求得与所配气的浓度更接近。本法只适用于一定浓度范围内的气体，如果气体浓度太低，由于分析方法灵敏度所限，测定结果误差较大，采样效率只是一个估计值。

主要参考文献

1.《环境污染分析方法》编写组编著．环境污染分析方法．北京：科学出版社，1982年．第3～20页。

2. 中国医学科学院卫生研究所编著．水质分析法．人民卫生出版社，1983年，第13～16页。

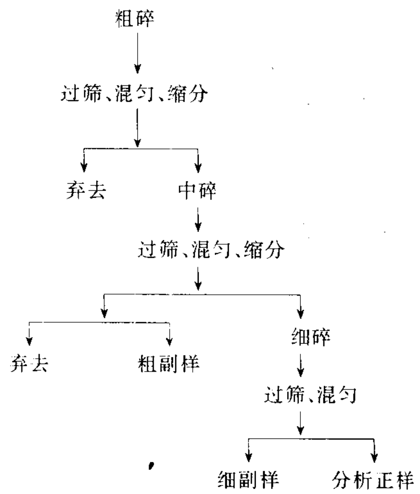
3. 国家环境保护局《空气和废气监测分析方法》编写组编。空气和废气监测分析方法．北京：中国环境科学出版社，1990. 10～20页。

4.《环境保护业务手册》编写组编．环境保护业务手册（内部资料）．1986，第7～97页。

第六章　分析样品的准备与处理

第一节　分析样品的准备

送至实验室来的样品，对一整批物料都具有足够的代表性。在制备分析样品的过程中，不使其失去足够的代表性，这与分析结果的准确性同等重要。对于组分不均匀的物料，必须经过一定程序的加工处理，才能作为供分析用的试样。固体样品加工的一般程序如下：



实际上不可能把全部样品都加工成为分析样品，因此在处理过程中要不断进行缩分。具有足够代表性的样品的最低可靠重量，按照切乔特公式进行计算：

$$Q=Kd^2$$

式中　Q——样品的最低可靠重量，kg；

K——根据物料特性确定的缩分系数；

d——样品中最大颗粒的直径，mm。

某些物料的缩分系数（K）值见表 6-1。

样品的最大颗粒直径（d），以粉碎后样品能全部通过的孔径最小的筛号孔径为准。几种试验筛的筛号及孔径如表 6-2 所示。

根据样品的颗粒大小和缩分系数，在表 6-3 中可以查到样品最低可靠重量的 Q 值。最后将样品研细到符合分析样品的要求。

表 6-1 各类矿石的缩分系数——K 的参考值

矿 种	K 值	矿 种	K 值
铁、锰	0.1～0.2	菱镁矿、石灰石、白云岩	0.05～0.1
铜、钼、钨	0.1～0.5	脉金（颗粒基本上小于 0.1mm）	0.2
镍（硫化物）、钴	0.2～0.5	脉金（颗粒基本上不大于 0.6mm）	0.4
镍（硅酸盐）、铝土矿（均一的）	0.1～0.3	脉金（颗粒基本上大于 0.6mm）	0.8～1
铬	不大于 0.25～0.3	铌、钽、锆、铪、铍、锂、铯、钪及稀土元素	0.1～0.2，一般为 0.2
铅、锌、锡	0.2	磷灰石（矿物分布均匀者）、萤石、黄铁矿、高岭土、粘土、石英岩	0.1～0.2
铝土矿	0.3～0.5		
锑、汞	不小于 0.1～0.2	明矾、石膏、硼矿	0.2

表 6-2 粒度分析用试验筛的筛号及孔径

GB6003—85（中国）[①]			ASTM（美国）			JIS（日本）		
筛孔基本尺寸/mm		网线直径 ϕ/mm	筛号	孔径/mm	网线直径 ϕ/mm	筛号 μm	孔径/mm	网线直径 ϕ/mm
主要尺寸	补充尺寸							
5.60		1.60	3 1/2	5.66	1.448	5660	5.66	1.600
	4.50	1.40	4	4.76	1.270	4760	4.76	1.290
4.00		1.40	5	4.00	1.118	4000	4.00	1.080
	3.55	1.25	6	3.36	1.016	3360	3.36	0.870
2.80		1.12	8			2830	2.83	0.800
	2.50	1.00	8	2.38	0.840	2380	2.38	0.800
2.00		0.90	10	2.00	0.760	2000	2.00	0.760
	1.80	0.80	12	1.68	0.690	1680	1.68	0.740
1.40		0.71	14	1.41	0.609	1410	1.41	0.710
	1.25	0.63	16	1.19	0.541	1190	1.19	0.620
1.00		0.56	18	1.10	0.480	1000	1.00	0.590
	0.900	0.50	20	0.84	0.419	840	0.84	0.430
0.710		0.450	25	0.71	0.370	710	0.71	0.350
	0.630	0.400	30	0.59	0.330	590	0.59	0.320
0.500		0.315	35	0.50	0.290	500	0.50	0.290
	0.450	0.280	40	0.42	0.249	420	0.42	0.290
0.355		0.224	45	0.35	0.220	350	0.35	0.260
	0.280	0.180	50	0.297	0.188	297	0.297	0.232
0.250		0.160	60	0.250	0.162	250	0.250	0.212
	0.200	0.140	70	0.210	0.140	210	0.210	0.181
0.180		0.125	80	0.177	0.120	177	0.177	0.141
	0.140	0.100	100	0.149	0.102	149	0.149	0.105
0.125		0.090	120	0.125	0.086	125	0.125	0.087
	0.100	0.071	140	0.105	0.074	105	0.105	0.070
0.090		0.063	170	0.088	0.064	88	0.088	0.061
	0.071	0.050	200	0.074	0.053	74	0.074	0.053
0.063		0.045	230	0.062	0.045	62	0.062	0.040
	0.050	0.036	270	0.053	0.040	53	0.053	0.038
0.045		0.032	325	0.044	0.036	44	0.044	0.034
	0.032	0.028	400	0.037	0.033			

①本表仅列出中华人民共和国国家标准GB 6003—85《试验筛标准》中筛孔小于 5.60mm 的主要尺寸和部分补充尺寸。

表 6-3　在各种筛号及缩分系数情况下样品最低质量 Q 值

筛号	Q/kg　K \ d/mm	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0
3	6.35	4.032	6.048	8.065	10.081	12.097	14.113	16.129	18.145	20.161	24.194	28.226	32.258	36.290	40.32	60.48	80.65
3½	5.66	3.204	4.805	6.407	8.009	9.611	11.212	12.814	14.416	16.018	19.221	22.425	25.628	28.832	32.04	48.05	64.07
4	4.76	2.266	3.399	4.532	5.665	6.798	7.930	9.063	10.197	11.329	13.594	15.860	18.126	20.392	22.66	33.99	45.32
5	4.00	1.600	2.400	3.200	4.000	4.800	5.600	6.400	7.200	8.000	9.600	11.200	12.800	14.400	16.00	24.00	32.00
6	3.38	1.142	1.714	2.285	2.856	3.427	3.999	4.570	5.141	5.712	6.850	7.997	9.140	10.282	11.42	17.14	22.85
7	2.83	0.801	1.201	1.602	2.002	2.403	2.803	3.204	3.604	4.004	4.805	5.606	6.407	7.208	8.009	12.01	16.02
8	2.38	0.566	0.850	1.133	1.416	1.699	1.983	2.266	2.549	2.832	3.399	3.965	4.532	5.098	5.664	8.497	11.33
10	2.00	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000	2.400	2.800	3.200	3.600	4.000	6.000	8.00
12	1.68	0.282	0.423	0.564	0.706	0.847	0.988	1.129	1.270	1.411	1.693	1.976	2.258	2.540	2.822	4.233	5.644
14	1.41	0.199	0.298	0.398	0.496	0.596	0.696	0.795	0.895	0.994	1.193	1.392	1.590	1.789	1.988	2.982	3.976
16	1.19	0.142	0.212	0.283	0.354	0.425	0.496	0.566	0.637	0.708	0.850	0.991	1.134	1.274	1.416	2.124	2.832
18	1.00	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.500	2.000
20	0.84	0.071	0.106	0.141	0.176	0.212	0.247	0.282	0.318	0.353	0.423	0.494	0.564	0.635	0.706	1.058	1.411
25	0.71	0.050	0.076	0.101	0.126	0.151	0.176	0.202	0.227	0.252	0.302	0.353	0.403	0.454	0.504	0.756	1.008
30	0.59	0.035	0.052	0.070	0.087	0.104	0.122	0.139	0.157	0.174	0.209	0.244	0.287	0.313	0.348	0.522	0.696
35	0.50	0.025	0.038	0.050	0.063	0.075	0.088	0.100	0.113	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.375	0.500
40	0.42	0.018	0.026	0.035	0.044	0.053	0.062	0.071	0.079	0.088	0.106	0.123	0.141	0.159	0.176	0.264	0.353
50	0.297	0.009	0.013	0.018	0.022	0.026	0.031	0.035	0.040	0.044	0.053	0.062	0.071	0.079	0.088	0.132	0.176
60	0.250	0.006	0.009	0.013	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.038	0.044	0.050	0.056	0.063	0.094	0.125
70	0.210	0.004	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015	0.018	0.020	0.022	0.026	0.031	0.035	0.040	0.044	0.066	0.088
80	0.177	0.003	0.005	0.006	0.008	0.009	0.011	0.013	0.014	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.047	0.063
100	0.147	0.002															
120	0.125	0.0016															
140	0.105	0.0011															
160	0.097	0.0009															
200	0.074	0.0005															

第二节 试样的分解

分解试样的要求：试样应该完全分解，在分解过程中不能引入待测组分，不能使待测组分有所损失，所用试剂及反应产物对后续测定应无干扰。

分解试样最常用的方法是溶解法和熔融法。熔解法通常采用水、稀酸、浓酸、混合酸的顺序处理。酸不溶物质采用熔融法。对于那些特别难分解的试样，采用增压溶样法可收到良好效果。有机试样的分解主要采用灰化处理，对于待测组分可能引起的损失应予注意。那些容易形成挥发性化合物的测定组分，采用蒸馏的方法处理可使试样的分解与分离得以同时进行。

一、溶剂或熔剂的性质

表 6-4 主要溶剂或熔剂的性质

溶剂或熔剂	性 质
盐 酸	最高沸点 108℃，强酸性，弱还原性，其中氯离子 Cl^- 具有一定络合能力，除银、铅、亚汞、亚铜等外，大多数氯化物均溶于水，高温下许多氯化物有挥发性，如铋、硼、锌、碲、铊、锑、砷、铬、锗、锇、铼、钌、锡等，单独用盐酸分解试样时，砷、磷、硫会生成氢化物挥发
硝 酸	最高沸点 121℃，强酸性，浓酸具有强氧化性，会使铝、铬、铁等金属表面钝化，几乎所有硝酸盐均溶于水，但锡、锑、钨、铌等在硝酸中会形成不溶性氢氧化物
硫 酸	最高沸点 338℃，强酸性，热的浓硫酸是强氧化剂，具有强脱水能力，能使有机物炭化，碱土金属及铅的硫酸盐不溶于水，利用其高沸点，加热至冒三氧化硫白烟可以除去磷酸之外的其他酸类和挥发性组分
磷 酸	最高沸点 213℃，强酸性，磷酸根 PO_4^{3-} 具有一定络合能力，热的浓磷酸具有很强分解能力，能分解很难溶的铬铁矿、金红石、钛铁矿、铌铁矿等，尤其适用于钢铁试样的分解，许多金属的正磷酸盐不溶于水
高氯酸	最高沸点 203℃（含 $HClO_4$ 72%），最强的酸，热的浓高氯酸是最强的氧化剂和脱水剂，高氯酸盐几乎都溶于水，高氯酸与有机物反应容易发生爆炸，使用中必须严格遵守操作规程
氢氟酸	最高沸点 120℃，对硅、铝、铁等具有很强络合能力，主要用于分解含硅试样，与硅形成挥发性的 SiF_4，对玻璃器皿腐蚀严重，须在白金或聚四氟乙烯容器中处理，砷、硼、钼、锇、碲等也能形成挥发性的氟化物
硫酸氢钾或焦硫酸钾	硫酸氢钾加热脱水变为焦硫酸钾，高于 370°开始分解出三氧化硫，酸性熔剂，氧化能力弱，熔融时温度不宜过高
铵盐熔剂	用作熔剂的铵盐有氯化铵、氟化铵、硝酸铵，硫酸铵，其分解温度分别为＞370℃，＞110℃，＞190℃，＞350℃，在分解温度下分解出相应的 HCl、HF、HNO_3、H_2SO_4，具有很强分解能力
氢氧化钠	熔点 327℃，强碱性，高温下具有强氧化能力，熔融过程中使试样转变为可溶性盐类，对瓷质器皿腐蚀严重
碳酸钠	熔点 851℃，性质同上
过氧化钠	熔点 460℃，强碱性，具有强氧化能力，与有机物或硫有爆炸性反应
碳酸钠＋氧化镁（或氧化锌）	半熔法熔剂，强碱性，强氧化性，因氧化镁（熔点 2500℃以上）存在，熔融过程中仍保持疏松状态，有利反应生成气体逸出，尤适用含硫、卤素试样的分解

二、溶解法分解试样

溶解法分解试样的溶剂与适用对象如表 6-5 所示。

表 6-5 溶解法分解试样

溶 剂	适 用 对 象	附 注
1. 单一溶剂		
水	碱金属盐类，铵盐、无机硝酸盐及大多数碱土金属盐，无机卤化物等	溶液若混浊时加少量酸
稀盐酸	铍、钴、锰、镍、铬、铁等金属，铝合金，铍合金，铬合金、硅铁，含钴、镍的钢，含硼试样，碱金属为主成分的矿物，碱土金属为主成分的矿物（菱苦土矿、白云石），菱铁矿	还原性溶解，天然氧化物不溶，试样中挥发性物质须注意

续表

溶剂	适用对象	附注
浓盐酸	二氧化锰、二氧化铅，锑合金、锡合金、橄榄石，含锑铅矿，沸石，低硅含量硅酸盐及碱性炉渣	
稀硝酸	金属铀，银合金，镉合金，铅合金，汞齐，铜合金，含铅矿石	
浓硝酸	汞，硒，硫化物，砷化物，碲化物，铋合金，钴合金，镍合金，钒合金，锌合金，银合金，铋、镉、铜、铅、锡、镍、钼等硫化物矿物	氧化性溶解，注意发生钝态
发烟硝酸	砷化物，硫化物矿物	
稀硫酸	铍及其氧化物，铬及铬钢，镍铁，铝、镁、锌等非铁合金	
浓硫酸	砷，钼、镍、铼、锑等金属，砷合金、锑合金，含稀土元素的矿物	
磷　酸	锰铁，铬铁，高钨、高铬合金钢，锰矿、独居石、钛铁矿	
氢氟酸	铌、钽、钛、锆金属，氧化铌，锆合金，硅铁、钨铁，石英岩，硅酸盐	需用白金器皿或聚四氟乙烯器皿
氢碘酸	汞的硫化物，钡、钙、铬、铅、锶等硫酸盐，锡石	
高氯酸	镍铬合金，高铬合金钢，不锈钢，汞的硫化物，铬矿石、氟矿石	
氢氧化钠或氢氧化钾溶液	钼、钨的无水氧化物，铝，锌等两性金属及合金	
氨　水	钼、钨的无水氧化物，氯化银，溴化银	
乙酸铵溶液	硫酸铅等难溶硫酸盐	
氰化钾溶液	氯化银，溴化银	
2. 混合溶剂		
(1) 混合酸		
王　水	金、钼、钯、铂、钨等金属，铋、铜、镓、铟、镍、铅、铀、钒等合金，铁、钴、镍、钼、铜、铋、铅、锑、汞、砷等硫化物矿物，硒、碲矿物	王水为 HNO_3+HCl (1+3V/V)，用于分解金、铂、钯时，$HNO_3+HCl+H_2O$(1+3+4)，不可用白金器皿
逆王水	银、汞、钼等金属，锰铁、锰钢、锗的硫化物	
浓硫酸＋浓硝酸＋浓盐酸（硫王水）	含硅多的铝合金及矿物	用于硅定量
硫酸＋磷酸	高合金钢，普通低合金钢，铁矿，锰矿，铬铁矿，钒钛矿及含铌、钽、钨、钼的矿物	
氢氟酸＋硫酸	碱金属盐类，硅酸盐、钛矿石，高温处理过的氧化铍	使用白金器皿或聚四氟乙烯器皿
氢氟酸＋硝酸	铪、钼、铌、钽、钍、钛、钨、锆等金属，氧化物、氮化物，硼化物，钨铁，锰合金，铀合金，含硅合金及矿物	同　上
(2) 酸＋氧化剂		
浓硝酸＋溴	砷化物，硫化物矿物	
浓硝酸＋过氧化氢	金属汞	
浓盐酸＋氯酸钾	含砷、硒，碲矿物，硫化物矿物	
浓硝酸＋氯酸钾	砷化物矿物，硫化物矿物	
浓硫酸＋高氯酸	镓金属，铬矿石	
磷酸＋高氯酸	金属钨粉末，铬铁、铬钢	
(3) 酸＋还原剂		
浓盐酸＋氯化亚锡	磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等氧化物矿物	以铁为测定对象
3. 其他		
三氯化铝溶液（或二氯化铍溶液）	氟化钙	形成络合物
酒石酸＋无机酸	锑合金	形成络合物
草　酸	铌、钽氧化物	同　上
EDTA 二钠溶液	硫酸钡，硫酸铅	同　上

三、熔融法分解试样

熔融法分解试样的适用对象及具体操作见表 6-6。

表 6-6 熔融法分解试样

熔剂	熔剂配法及操作时间 t/min	温度 θ/℃	使用坩埚	适用对象
1. 碱性熔剂				
碳酸钠（或碳酸钾）	试样的 6～8 倍用量徐徐升温［（40～50）min］	900～1200	铁、镍、白金	铌、钽、钛、锆等氧化物，酸不溶性残渣，硅酸盐，不溶性硫酸盐，铍、铁、镁、锰等矿物
碳酸钠＋碳酸钾（2＋1）	试样的 5～8 倍用量		白金	钒合金，铝及含碱土金属的矿物，氟化物矿物
氢氧化钠（氢氧化钾）	试样的 10～20 倍用量（30min）	＜500	铁、镍、银	锑、铬、锡、锌、锆等矿物，两性元素氧化物，硫化物（测硫）
			镍	碳化硅
碳酸钠，三氧化二硼，碳酸钾	三者等量混合、试样的 10～15 倍用量［（30～60）min］	缓和分解	白金	铬铁矿、钛矿，铝硅酸盐矿物
碳酸钠＋硼砂（3＋2）	试样的 10～12 倍用量	600～850	瓷	分解铬铁矿、钛铁矿、锆英石等
2. 酸性熔剂				
硫酸氢钾（或焦硫酸钾）	试样的 8～10 倍用量，徐徐升温，形成焦硫酸盐［（40—60）min］	500～700	白金、石英、瓷	铝、铍、铁、镓、铟、钽、钛、锆等氧化物，硅酸盐，铬铁矿，锰矿，冶炼炉渣，稀土元素含量多的矿物，白金坩埚清洗
氟氢化钾	试样的 8～10 倍用量	低温	白金	硅酸盐稀土和钍的矿物
氧化硼（熔融后研细备用）	试样的 5～8 倍用量	580	白金	硅酸盐，许多金属氧化物
铵盐熔剂（可用氟化铵、氯化铵、硝酸铵、硫酸铵，以及它们的混合物）	试样的 10～20 倍用量	110～350	瓷	铜、铅、锌的硫化物矿物，铁矿、镍矿、锰矿，硅酸盐
氟氢化钾－焦硫酸钾（1＋10）	试样的 8～10 倍用量		白金	分解某些硅酸盐矿物、锆英石、稀土、钍、钽、铌矿物等
碳酸钙＋氯化铵	与试样等量氯化铵与 8 倍量碳酸钙混合（60min）	900	镍、白金	硅酸盐，岩石中碱金属定量，含硫多的试样，氯化铵可用氯化钡代替
3. 氧化性熔剂				
过氧化钠	试样的 10 倍用量（先在坩埚内壁沾上一层碳酸钠可防止腐蚀）（15min）	600～700	铁、镍、银	铬合金、铬矿、铬铁矿，钼、镍、锑、锡、钒、铀等矿石，硅铁、硫化物矿物、砷化物矿物，铼矿、锇、铑等金属
氢氧化钠＋过氧化钠	试样＋氢氧化钠＋过氧化钠（1＋2＋5）	＞600	铁、镍、银	铂族合金、钒合金，铬矿、钼矿、闪锌矿
过氧化钠＋碳酸钠（5＋1）	试样的 10 倍用量（以过氧化钠为准）	＞600	铁、镍、银	砷矿物、铬矿物，硫化物矿物，硅铁
碳酸钠＋硝酸钾（4＋1）	试样的 10 倍用量	700～750	铁、镍、银	钒合金、铬矿、铬铁矿、钼矿、闪锌矿，含硒、碲矿物
4. 还原性熔剂				
氢氧化钠＋氰化钾（3＋0.1）		400	镍、银、铁	锡石
碳酸钠＋硫（1＋1）	试样的 8～12 倍用量	400～450	瓷	分解含砷、锑、锡的矿石及合金，使其形成可溶性的硫代酸盐
5. 半熔法熔剂				
碳酸钠＋氧化镁（2＋1）	试样的 10～14 倍用量	700～750	铁、镍、瓷	铁合金和铬铁矿
碳酸钠＋氧化镁（1＋2）	试样的 4～10 倍用量	700～750	同上	铁合金，测定煤中的硫
碳酸钠＋氧化锌（2＋1）	试样的 8～10 倍用量	800～850	同上	硫化物矿物中硫的测定

四、增压溶样法

增压溶样法是一种在密闭条件下分解试样的方法，需要专用的增压溶样器。增压溶样器

一般用不锈钢外壳和聚四氟乙烯内筒组成，盖子用螺纹或螺栓固紧。样品和溶剂用聚四氟乙烯烧杯盛放。再将烧杯放在增压溶样器中进行分解。由于此法在密闭条件下加热加压，具有溶剂用量少、溶样效率高，可以减少玷污，适用范围广等优点。此法主要用于处理一般方法特别难分解的样品。增压溶样法分解试样的应用参见表 6-7。

表 6-7　增压溶样法分解试样

样　品	质量 m/g	分解试剂 V/ml	分解温度 $\theta/°C$	分解时间 t/h	分解率 %	样品分解状况
十字石	0.2	$HF(10)+HClO_4(10)$	250±10	1	100	
十字石	0.25	$HF(20)$	220～230	2		紫色块状沉淀
十字石	0.5	$HF(6)+HClO_4(4)$	240	3	46	
十字石	0.6	$HF(7)+H_3PO_4(14)$	240	4.5	100	
十字石	0.1	$HF(1)+(1+1)H_2SO_4(0.5)$	420	19	100	细粒沉淀
十字石	0.1	$HF(1.5)$	375	19	100	AlF_3 沉淀
红柱石	0.26	$HF(10)+H_3PO_4(10)$	220～230	6	>98	极少量黑色沉淀
红柱石	0.5—0.8	$HF(7)+H_3PO_4(16)$	240	6	100	用 H_2SO_4 或 H_2SO_4+HF 分解不完全
红柱石	0.8	$HF(10)+HClO_4(10)$	240	5	46.5	
斧　石	0.25	$HF(20)$	220～230	6	100	大量灰黑色沉淀，溶于 HCl
符山石	0.25	$HF(20)$	220～230	3.5	100	大量白色沉淀，溶于大体积 HCl
叶蜡石	0.25	$HF(20)$	220～230	2.5	100	灰色沉淀，煮沸溶于硼酸
榍　石	0.25	$HF(20)$	220～230	3	100	大量白色沉淀，溶于 HCl
榍　石	0.5	$HF(7.5)+(1+1)H_2SO_4(5)$	240	5.5	92	
电气石	0.26	$HF(10)+(1+1)H_2SO_4(10)$	220～230	4	100	白灰色沉淀，溶于 HCl
电气石	0.5	$HF(12.5)+(1+1)H_2SO_4(12.5)$	240	3.5	100	
蓝晶石	0.2	$HF(10)+HClO_4(10)$	250±10	1	100	
蓝晶石	0.1	$HF(1.5)$	400	18	100	少量沉淀
硅铍石	0.1	$HF(1.5)$	400	18	100	
石榴石	0.02	$HF(1)$	425	5	100	少量沉淀
锂云母	0.5	$(1+1)H_2SO_4(20)$	240	8	99	残渣中含钙
普通辉石		$HF(15)$	240	13	100	
微斜长石	0.5	$HF(15)$	240	13	99	
绿柱石	0.1	$HF(20)$	220～230	1	100	
绿柱石	0.1	$HF(20)$	220～230	3.5	100	
绿柱石	0.1	$HF(10)+HNO_3(10)$	220～230	2	100	大量白色 AlF_3 沉淀，含铍甚微
绿柱石	0.2	$HF(10)+HCl(10)$	220～230	2	100	大量白色 AlF_3 沉淀，含铍甚微
绿柱石	0.2	$HF(10)+H_2SO_4(10)$	220～230	2	100	少量白灰色沉淀
绿柱石	0.2	$HF(10)+HClO_4(10)$	220～230	2	100	大量白色 AlF_3 沉淀，含铍甚微
绿柱石	0.2	$HF(10)+HClO_4(10)$	250±10	1	100	
绿柱石	0.3	$HF(20)$	240	10	100	
绿柱石	0.3	$HF(10)+H_3PO_4(10)$	240	4	100	
绿柱石	0.1	$HF(1.5)$	400	18	100	AlF_3 沉淀
铬矿石	0.5—1	$HF(12)+(2+1)H_2SO_4(12)$	240	5	100	
铬矿石	0.5	$HF(8.5)+HClO_4(2.5)$	240	3.5	91.3	铬氧化
铬矿标样 103a	0.05	$HF(1.5)$	425	17	100	大量绿色沉淀
铬矿标样 103a	0.05	$HCl(1.5)$	425	17	100	小量胶状沉淀，不含铬
单斜锆石		$HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)$	240	12	100	
铌铁矿		$HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)$	240	8	100	
钽铁矿		$HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)$	240	8	100	
红铁镍矿	0.2	$HCl(15)$	240	6	100	
黄铁矿		$HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)$	240	5		很不完全

续表

样品	质量 m/g	分解试剂 V/ml	分解温度 $\theta/°C$	分解时间 t/h	分解率 %	样品分解状况
锆英石		HF	240	10	100	
锆英石	0.25	HF(20)	220~230	6	81	
锆英石	0.5	HF(25)	240	5	<50	HF 混以 H_3PO_4、H_2SO_4、HClO 均不能完全分解
锆英石	0.025	HF(1)	400	4	70	
锆英石	0.025	HF(1.5)	425	20	100	
黄　玉	0.25	HF(20)	220~230	3	51	
黄　玉	0.2	HF(10)+$HClO_4$(10)	250±10	1	35	
石　英	1	HF(12)+$HClO_4$(3)	240	10	100	原样品粒度为 1mm
石　英	1	HF(13)+H_2SO_4(2)	240	10	100	原样品粒度为 1mm
石　英	1	30%KOH(15)	240	5	100	
假蓝宝石	0.03	HF(1.5)	400	17	100	少量沉淀
刚　玉		HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)	240	4	100	少许铝盐沉淀
刚　玉	0.5	HCl(15)	240	3.5	96.7	
刚　玉	0.5	(1+1)$HClO_4$(15)	240	3.5	88.4	
刚　玉	0.5	HF(15)	240	3.5	100	
刚　玉	0.5	HF(15)+$HClO_4$(3)	240	3.5	100	
刚　玉	0.5	(2+1)H_2SO_4(15)	240	3	100	
刚　玉	0.5	(1+1)H_2SO_4(5)+H_3PO_4(5)	240	4.5	100	
磁铁矿	0.5	HBr(20)	240	10	>99.5	
磁铁矿	0.7	HBr(14)+HF(1)	240	10	100	
磁铁矿	0.6	70%H_2SO_4(20)	240	6.5	100	
磁铁矿		HF(5)+(1+1)H_2SO_4(15)	240	4	100	
钛铁矿	1	65%H_2SO_4(5)	240	3	100	
钛铁矿		HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)	240	6	100	钛水解
锡　石	0.5	HCl(15)	240	7	100	
金红石	0.25	HF(20)	220~230	3	36.8	
金红石		HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)	240	16	100	
金绿宝石	0.1	HF(10)+(1+1)H_2SO_4(10)	220~230	6	100	AlF_3 沉淀
金绿宝石	0.1	HF(1.5)	400	20	100	AlF_3+(H_3O)AlF_4 沉淀
金绿宝石	0.1	HCl(1.5)	400	19		多量试样未分解
铬铁矿		HF(5)+(1+1)H_2SO_4(5)	240	6	100	
铬铁矿	0.25	HF(10)+(1+1)H_2SO_4(10)	220—230	4	100	
铬铁矿	0.8	HF(12.5)+(2+1)H_2SO_4(12.5)	240	5	99.2	
黄铁矿	0.2	HF(10)+$HClO_4$(10)	250±10	1	100	
黄铁矿	0.5	H_2SO_4(25)	240	3	99	
黄铁矿	0.6	H_2SO_4(20)+Br_2(1)	240	6.5	99.8	
磁黄铁矿	0.2	HF(10)+$HClO_4$(10)	250±10	1	100	
黄铜矿	0.2	HF(10)+$HClO_4$(10)	250±10	1	100	
磷钇矿	0.1	HCl(10)	220~230	2.5	54	
磷钇矿	0.1	HF(10)+HNO_3(10)	220~230	6	100	少量沉淀，含 YF_3
花岗岩 Gl	0.03	HF(1.5)	400	17	100	极少量沉淀
板　岩	0.2	HF(1)+H_3PO_4(10)	240	8	100	

五、有机试样分解方法

表 6-8 所列有机试样的分解方法适用于测定有机物中金属、硫和卤素。

表 6-8 有机试样分解方法

分类	方法或溶剂	适用对象	容器与操作	附注
干法灰化法	坩埚灰化法	铝、铬、铜、铁、硅、锡	白金坩埚，(500～550)℃变为氧化物后溶解	
		银、金、铂	瓷坩埚、变为金属后用硝酸或王水溶解	
		钡、钙、镉、钾、锂、镁、锰、钠、铅、锶	白金坩埚，变为硫酸盐	铅存在时为防止其还原加硝酸
	氧瓶燃烧法	卤素、硫、微量金属	试样在置有吸收液和氧气的三角烧瓶中燃烧	Schöniger 法
	燃烧法	卤素、硫	燃烧管，氧气流中(20～30)min，$Na_2SO_3+Na_2CO_3$ 吸收液吸收	Pregl 法
	低温灰化法	银、砷、金、镉、钴、铬、铯、铜、铁、汞、碘、钼、锰、钠、镍、铅、锑、硒，铂族(食品、石墨、滤纸、离子交换树脂)	低温灰化装置，<100℃	借高频激发的氧气进行氧化分解
湿法灰化法	单一酸： 浓硫酸	用浓硝酸或有不溶性氧化物生成时	硬质玻璃容器	不是强力的分解剂
	浓硝酸	镭等		良好的氧化剂
	混合酸： 浓硫酸＋浓硝酸	金、铋、钴、铜、锑等	凯氏烧瓶	
	硝酸＋高氯酸	汞除外，其他金属元素、砷、磷、硫等(蛋白质、赛璐珞，高分子聚合物，煤、燃料油，橡胶)	凯氏烧瓶，67%HNO_3：76%$HClO_4$=1：1，由室温徐徐升温	钒、铬作为催化剂
	酸＋氧化剂： 浓硫酸＋过氧化氢	含银、金、砷，铋、锗、汞、锑等金属有机化合物 含有机色素的物质(合成橡胶等)	试样中先加硫酸后加30%过氧化氢 硫酸＋硝酸加热，冷却后滴加过氧化氢(2～3次)	过氧化氢沿壁加下去
	浓硫酸＋重铬酸钾	卤素	凯氏烧瓶	冷却管并用
	硝酸＋高锰酸钾	汞(食品)		使用回流冷却器
	发烟硝酸	溴、铬、硫、挥发性有机金属化合物	发烟硝酸与硝酸银在闭管中加热(250℃～300℃，5h～6h)	碘不适用，Carius 法
	过氧化氢、硫酸亚铁	一般有机物(油脂、塑料除外)	试样碎片，30%H_2O_2 稀 HNO_3 调节 pH2，$FeSO_4\approx0.001mol\cdot L^{-1}$，90℃～95℃加热 2h	Sansoni 法
特殊法	过氧化钠，氯酸钾法	砷、硼、卤素，铼、硫、硒、硅	试样加 Na_2O_2、$KClO_3$ 加热(1～1.5)min	试样要细至60目，干燥，测卤素、硒时可用 KNO_3 代替 $KClO_3$
	加热银法	卤素，硫	氧气流中加热分解，由加热的银吸收卤素、硫	
	碱金属熔融法	卤素，磷、硫	磁坩埚，钠、钾、镁等400℃，加热15min	形成相应的盐
	石灰熔融法	磷	耐热管，石灰与硝酸钾或碳酸钠熔融	形成磷酸盐

六、试样的蒸馏处理

表 6-9 试样蒸馏处理

分类	溶剂	操作	温度 θ/℃	容器	适用对象
氧化性	强磷酸[①]+碘酸钾	试样(5～15)mg, KIO_3(0.2～0.4) g，强磷酸(3～4) ml	<250	硬质玻璃	活性炭、木炭、石墨、有机化合物中的C，金属钨、碳化钨中的C、有机化合物、生物体中的C
	强磷酸+重铬酸钾	强磷酸 100g，$K_2Cr_2O_7$ 10g	<240		堆积物、土壤、生物试样中 Ru^{106}，Ru
	强磷酸+重铬酸钾+重铬酸银	100g+10g+0.5g			滑石、陶土、粘土中的Cl
	强磷酸+重铬酸钾+浓硫酸	试样 1g 分别加溶剂 30ml+25g+40ml	<120		煤、褐煤中的Ge
	强磷酸+硫酸高铈	试样 1g 分别加溶剂 30ml+10g	<280		沉积物，岩石、生物试样中 As、Hg、Os(中子活化分析)
还原性	强磷酸+氯化亚锡	$SnCl_2 \cdot 2H_2O$ 50g，强磷酸 250g，加热至 300℃	<300	硬质玻璃	Al_2O_3 中的 SO_4^{2-}，硫酸盐、亚硫酸盐，硫化物，有机物中的硫(强磷酸+重铬酸钾法中氧化为 SO_4^{2-})，黄铁矿中的Se，农药中的Hg
	强磷酸+溴化铵(溴化钾)	强磷酸 30g，溴化铵 1g	<250		沉积物、岩石、生物体试样中 Se

①强磷酸是由正磷酸加热浓缩(300℃左右)而得到的稠粘状物，为正磷酸、焦磷酸和三聚合磷酸等几种聚合磷酸的混合物，能在较低温度(250℃～300℃)分解试样。

七、金属在酸、碱中的溶解性质

表 6-10 金属在酸、碱中的溶解性质

元素符号	元素名称	在酸、碱中的溶解性质
Ag	银	易溶于硝酸、溶于热浓硫酸，不溶于盐酸和冷硫酸
Al	铝	易溶于盐酸，难溶于硝酸和稀硫酸。铝及其合金易溶于浓的苛性碱溶液(20%～40%NaOH 或 KOH)
As	砷	溶于硝酸和盐酸的混合酸中；在加热至冒烟时溶于浓硫酸，不溶于盐酸和稀硫酸
Au	金	溶于硝酸和盐酸的混合酸中
B	硼	溶于氧化性酸，浓硫酸和浓硝酸中，甚至溶于加热至冒烟的高氯酸中。与苛性碱熔融生成偏硼酸盐
Be	铍	易溶于盐酸、硫酸和热硝酸。冷硝酸使铍表面"钝化"，生成氧化铍薄膜
Bi	铋	易溶于稀硝酸，硝酸和盐酸混合酸，热浓硫酸，不溶于稀盐酸和稀硫酸
Cd	镉	溶于热稀硝酸，难溶于稀盐酸和稀硫酸，但在过氧化氢存在下可加速其溶解
Ce	铈	易溶于酸，生成三价的铈盐
Co	钴	溶于稀硝酸、稀盐酸和稀硫酸。浓硫酸和浓硝酸使钴"钝化"
Cr	铬	易溶于盐酸和高氯酸中，也溶于稀硫酸。在硝酸中因铬表面"钝化"而使进一步溶解极慢
Cu	铜	易溶于硝酸，不溶于盐酸和稀硫酸。加热至冒烟时浓硫酸也溶解铜。在氧化剂(例如 Fe^{3+}、H_2O_2、HNO_3 等)存在下盐酸也能溶解铜
Fe	铁	易溶于硝酸，稀硫酸和盐酸。极纯的铁溶于硝酸而不溶于盐酸
Ga	镓	易溶于硫酸及盐酸，在硝酸中溶解很慢。易溶于强碱(例如 NaOH、KOH)溶液中，在氨水中溶解得更为显著
Ge	锗	易溶于王水，过氧化氢的碱性溶液。酸对锗的作用很微弱，在硝酸中生成二氧化锗的水合物
Hf	铪	不溶于盐酸和硫酸，而易溶于王水和氢氟酸
Hg	汞	易溶于硝酸和热浓硫酸，不溶于盐酸和稀硫酸
In	铟	易溶于盐酸，难溶于硫酸，极难溶于浓硝酸
La	镧	La 和其他稀土，易溶于盐酸、硝酸和硫酸溶液中
Mg	镁	易溶于所有的稀酸(其中包括乙酸)，也溶于浓氯化铵溶液
Mn	锰	溶于稀硝酸、盐酸和硫酸，生成二价锰盐(Mn^{2+})；在浓硫酸中溶解并析出 SO_2
Mo	钼	易溶于王水，氢氟酸和硝酸的混酸。浓硫酸在加热至冒烟时也溶解钼；在加热的稀盐酸中溶解很慢。在氧化剂存在下与碱熔融；浓硝酸使钼"钝化"

续表

元素符号	元素名称	在 酸、碱 中 的 溶 解 性 质
Nb	铌	不溶于王水和浓硝酸；溶于加有硝酸的氢氟酸中，溶于加有 $(NH_4)_2SO_4$ 或 K_2SO_4 的浓硫酸（加热至冒烟）；与碱熔融生成铌酸盐
Ni	镍	溶于稀硝酸，在浓硝酸中“钝化”而不溶；难溶于稀盐酸和稀硫酸
Pb	铅	易溶于稀硝酸，加热时溶于盐酸和硫酸；溶于乙酸
Pt	铂族元素	钯是铂金属中最活泼的一个元素，它溶于浓硝酸及热硫酸中，溶于王水。铂溶于王水。钌、铑、锇、铱不溶于一般无机酸和王水。铂族金属在有氧化剂存在时与碱一起熔融，均可较变为可溶性化合物
Re	铼	溶于硝酸而成铼酸溶液。浓硫酸在加热下慢慢溶解铼，在盐酸及稀硫酸中溶解很慢
Sb	锑	溶于加热至冒烟的浓硫酸中，溶于硝酸和盐酸的混酸，溶于硝酸和酒石酸混合酸中。在浓硝酸中生成不溶的四氧化二锑（Sb_2O_4）
Se	硒	溶于硝酸生成可溶性硒酸（H_2SeO_3），也溶于王水
Sn	锡	溶于盐酸、盐酸和硝酸的混合酸中；溶于热浓硫酸；在硝酸中生成不溶的偏锡酸（H_2SnO_3）沉淀
Ta	钽	不溶于王水和硝酸；在没有白金存在时，氢氟酸不与钽作用；浓硫酸仅在加热下才与钽作用；溶于加有硝酸的氢氟酸中；与碱熔融生成钽酸盐
Te	碲	溶于硝酸生成可溶性的碲酸（H_2TeO_3）；溶于王水，浓硫酸和 NaOH-HCN 溶液中
Th	钍	易溶于浓盐酸以及盐酸和硝酸的混合酸中。单独硝酸使钍“钝化”
Ti	钛	溶于（1+1）盐酸和（1+5）硫酸，生成三价钛盐并呈紫色；极易溶于稀氢氟酸、氢氟酸和硝酸的混合酸中。钛在硝酸中因生成不溶的偏钛酸而使钛“钝化”，而这种偏钛酸难溶于盐酸和硫酸中
Tl	铊	易溶于硝酸，难溶于硫酸，极难溶于盐酸
U	铀	溶于稀硫酸和盐酸，溶于高氯酸。冷硝酸使铀“钝化”
V	钒	溶于冷王水和浓硝酸；加热下溶于浓硫酸和氢氟酸，同碱熔融生成钒酸盐；不溶于稀硫酸和盐酸
W	钨	不溶于硫酸和盐酸，浓硝酸和王水将钨表面氧化并使之转化为不溶的钨酸；溶于氢氟酸和硝酸；溶于含有磷酸的酸混合物中，这是因为生成十二钨磷酸（$H_7[P(W_2O_7)_6]\cdot xH_2O$）的缘故。在过氧化氢存在下，钨溶于饱和草酸中。在氧化剂存在下（例如 $KClO_3$），用碱或 Na_2CO_3 熔融生成钨酸盐
Zn	锌	易溶于硝酸、硫酸和盐酸。锌及其合金易溶于苛性碱（NaOH 或 KOH）浓溶液中
Zr	锆	溶于王水和氢氟酸，也溶于氢氟酸和硝酸的混合酸中。难溶于硫酸和浓盐酸中。对于 5%的盐酸，甚至加热也是不溶的

八、无机试样分解方法

表 6-11 无机试样的分解方法

样 品；质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂[①]
银（纯银）；1g	Ag	20ml HNO_3（$d=1.2$）
银（粗银）；0.5g	Ag	7.5ml HNO_3（$d=1.2$）
银合金（含银 10%～90%的银焊料）；1g	Ag	10ml HNO_3（1+1）
各种银合金；1g	Ag 及其他金属	10ml HNO_3（1+1）
$KAg(CN)_2$；1g	Ag	20ml H_2SO_4，加热至冒烟
铝土矿；2g	Al、Ca、Cr、Fe、Mn、P、Si、Ti、V	7g NaOH（细颗粒），约 700℃，镍坩埚
铝土矿；1g	Al、Fe、Si、Ti	30ml HNO_3/HCl（1+3）+15ml H_2SO_4（1+1）溶于 10ml 盐酸
铝土矿；1g	Al、Ca、Cr、Mn、Fe、Si、Ti、V	1g Na_2CO_3，30min；1100℃；铂坩埚；AAS 测定
铝土矿；1g	Ca、Cr、Fe、Mn、Si、Ti、V、Zn	1.2g H_3BO_3+2.2g Li_2CO_3，1100℃；铂坩埚；AAS 测定
铝土矿；2g	Ca	25ml HCl 充分煮沸
高纯铝；3g	Be、Bi、Mn、Ti、V、Zn	50ml HCl（1+1）+1ml$CuCl_2$（1.5mg·ml^{-1}）

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂[①]
高纯铝；3g	Be、Cd、Cu、Mg、Ni、Si	20ml NaOH（20%），聚四氟乙烯烧杯
高纯铝；1g	Fe	15ml HCl（1+1）+15ml HNO_3（2+3），玻璃烧杯
高纯铝；0.1g～1g	B	5ml～20ml H_2SO_4（1+1）+3次滴加1mlH_2O_2（30%）+3次滴加1ml$HgCl_2$溶液（50g/100ml），石英烧杯
高纯铝；0.25g	Ag	10mlH_2SO_4（1+1），玻璃烧杯
高纯铝；2g	Zn	40ml HCl（1+1）+1ml $CuCl_2 \cdot 2H_2O$（1.5mg·ml^{-1}）玻璃烧杯
纯铝；0.5g～2.5g	Be、Ca、Fe、Ga、Na、Ti、Zn	15ml～50ml HCl（1+1），玻璃或石英烧杯
纯铝；0.5g～2g	B、Cr、Cu、Pb、Ti、V	10ml～20ml NaOH（25%），如果必要可加水，聚四氟乙烯烧杯
纯铝；1g～10g	Co、Mg、Ni	10ml～75ml NaOH（20%），聚四氟乙烯烧杯
纯铝；1g～2g	Mn	20ml H_2SO_4（1+1）+10ml HNO_3玻璃烧杯
纯铝；1g	Ga	20ml7mol·L^{-1}HCl，玻璃烧杯
掺有少量合金元素的铝1g～5g	Co、Cu、Mn、Na、Sb	20ml～100ml HCl（1+1），如果必要可加H_2O_2
0.5g～2g	Sn、Zn、Cr、Fe、Ni、Pb、Ti	10ml～100ml NaOH（20%）
铝铍合金：见铍		
铝/铜合金：1g	Cu	20ml混合酸[70ml H_2SO_4（1+1）+30ml HNO_3+7ml HCl]
铝/镁合金：0.25g～2g	Mg	10ml～80ml NaOH（20%）
铝/硅合金：1g	Si	10gNaOH+20ml H_2O，镍烧杯
铝/钒合金：1g～5g	V，Zn	50ml～100ml混合酸（300ml H_2SO_4+100ml H_3PO_4+600mlH_2O）
铝/锌合金：1g		20ml NaOH（0.25g·ml^{-1}），玻璃烧杯
氢氧化铝；7.5g	Cu、Fe、Ga、Mg、Mn、Ni、P、S、Si、Ti、V	10.3gNa_2CO_3 + 3.3g$Na_2B_4O_7$（或12gNa_2CO_3+4gH_3BO_3）20min；1000℃；铂坩埚
氢氧化铝；1g	Zn	20ml H_3PO_4，原子吸收光谱法测定
氢氧化铝；1g	Na	25ml H_2SO_4，加热至冒烟，AAS测定
氢氧化铝；2g	F	热水解，2h～4h；1000℃；石英仪器
三氧化二铝（或刚玉）；5g	Fe、Si、Ti、V	5gH_3BO_3+10gNa_2CO_3，10min；1000℃；铂坩埚溶于2mol·$L^{-1}$$H_2SO_4$
三氧化二铝（或刚玉）；5g	Cr、Cu、Ga、Fe、Mg、Mn、Ni、P、S、Si、Ti、V	4gH_3BO_3+12gNa_2CO_3（或10.3gNa_2CO_3+3.3g$Na_2B_4O_7$）20min；1000℃；铂坩埚
三氧化二铝（或刚玉）；1g	Na	1.4gLi_2CO_3+1.75gB_2O_3，20min；1150℃；铂坩埚
三氧化二铝；1g	Na	20ml HF+50ml NH_3（1+1）+20ml H_2O，铂皿；加热至猛烈冒烟
三氧化二铝；1g	Ca	7.2ml HCl+2ml H_2O，12h；270℃；封闭玻管
三氧化二铝；2g	Cl，F	热水解，2h～4h；1000℃；石英仪器
含砷矿石及残渣；2g	As	20ml HNO_3，溶解后，同20ml H_2SO_4（1+1）加热至猛烈冒烟；铁或镍坩埚
2g	As	12g～16gNaO_2
硫化砷；100g	Ag，Au	100ml H_2SO_4
三氧化二砷；0.1g	As	100ml H_2SO_4+0.5gS，煮沸除硫，滴定砷
三氧化二砷；0.2g	S	2ml乙醇+3ml Br_2；5min后加5ml HCl温热
纯金；0.25g	Au	0.625gAg+1g试铅，于1000℃分出铅，把铅粒溶于HNO_3
金：100g	微量Ag	100ml HNO_3+300ml HCl+50ml H_2O

续表

样 品；质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂①
金合金；0.5g～1g	Ag、Au、Cd、Cu、Fe、Pb、Pt、Sn	2ml～15ml 王水
KAu $(CN)_2$；约 0.3g	Au	30ml H_2SO_4，加热至剧烈冒烟
粗硼砂；5g	B	50ml H_2O，煮沸 5min，然后在蒸汽浴上 15min
铁硼合金；0.5g	B	50ml HCl (1+1) +几滴 HNO_3
铁硼合金；1g	B	10gNa_2O_2，慢慢加热至 900℃，铁坩埚
铁硼合金；1g	B	3g$NaKCO_3$+5g Na_2O_2，铁坩埚
硼化钛；0.25g	B	5gNa_2CO_3；样品上下再放一层 Na_2CO_3（各 5g）铂坩埚
氮化硼；0.25g	N	15ml HF (20%～30%)，150℃，4h，有电磁搅拌的聚四氟乙烯内衬增压器
氮化硼；0.2g	N	10gLiOH·$2H_2O$，镍坩埚中熔融，用石英器皿
重晶石 $(BaSO_4)$；1g	Al、Fe、S、Si、Sr	与 2gNa_2CO_3 混合，再覆盖 7g～9gNa_2CO_3，烧结，在加盖铂坩埚内于 1200℃加热 20min；用 20ml 热水溶解铂坩埚；用 5ml H_2SO_4 加热至冒烟
绿柱石；0.5g	Be	3gKF
铍；1g	Al、Fe、Ni	40ml HCl (1+1)
铍；0.5g～1g	B，Si	50ml NaOH $(0.45g\cdot ml^{-1})$
铍；1g	Cu	15ml HNO_3+少量水
铍；0.3g	F	35ml H_2SO_4+25mlH_2O
铝/铍合金；0.25g～0.50g	Be	20ml HCl (1+1) +2ml HNO_3 (1+1)
铜/铍合金；5g	Be，Cu	42ml 混合酸（300ml H_2SO_4 + 210ml HNO_3+750mlH_2O）
铍铁合金；2g	Be	50ml HNO_3 (1+1) +100ml H_2O
镍/铍合金；5g	Be	50ml H_2SO_4+50ml HNO_3
铋矿石；1g	Bi、Mo、Pb、Sb、Sn、W	20gNa_2O_2，镍坩埚
铋矿石；1g～5g	As	HNO_3，用 20ml H_2SO_4 (1+1) 加热至冒烟
铋；2.5g	As	20mlHNO_3，用 15ml H_2SO_4 (1+1) 加热至冒烟
铋；1g	Pb	氯化 300℃；溶解铅渣于 HNO_3 (1+1)
铋；2g～10g	Ag、Cu、Te	10ml～50ml HNO_3 (1+1)
铋合金；1g	Bi、Cd、Cu、Pb	5g 酒石酸+10ml H_2O+10ml HNO_3 (1+1)
铋合金；1g	Sn	25ml H_2SO_4
活性碳；3g	微量 Hg	10ml H_2SO_4+25ml HNO_3+0.1gV_2O_5，回流下加热 2h
焦炭、焦炭灰；0.25g	Cr、Cu、Fe、Ni、Ti、V	3g$Na_2B_4O_7$，20min，1000℃～1100℃，铂坩埚
焦炭、焦炭灰；0.25g	Al、Ca、Si	2.5gNa_2CO_3，20min，1000℃～1100℃，铂坩埚
焦炭、焦炭灰；0.1g	K，Na	用 2ml HNO_3 (1+1) +2ml $HClO_4$ (1+4) +5ml HF，溶残渣于 H_2SO_4
焦炭、焦炭灰；1g	S	3gMgO+Na_2CO_3 (2+1)，750℃～800℃铂坩埚
焦炭、石墨；0.5g	S	在 O_2 中燃烧，1250℃
沥青；0.1g～0.5g	S	在 O_2 气流中燃烧，900℃～1000℃
石灰石；0.25g	Mg	10ml HCl (1+1)
萤石；见氟		
石膏；0.5g	Al、Ca、Fe、Mg	溶于 40ml 热的约 $2mol\cdot L^{-1}$HCl 并加 150ml 水，煮沸 (5～10) min

续表

样 品；质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂①
镉；0.25g	Cu、Fe、Pb、Tl、Zn	150ml HNO_3（1+1）
镉飘尘镉渣；0.5g～2.5g	Cd、Cu、Pb、Tl、Zn、	10ml～50ml HNO_3（1+1），用 20ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟
镉飘尘、镉渣；2g～5g	Bi	12g～30gNa_2O_2，铁坩埚
钴矿石、矿渣及刮屑；2g	Co、Cu、Ni、Pb	25ml HNO_3+10ml H_2O，用 H_2SO_4（1+1）剧烈冒烟
	Co、Cu、Ni、Pb	15g ～ 20gNa_2O_2 + 1g$NaKCO_3$，熔融 10min；三氧化二铝坩埚
钴；2.5g～4g	Co、Ni	50ml HNO_3（1+1）
钴；1g	Ca、Cu、Fe、Mn、Ni、Zn	50ml HNO_3（2+3）
钴；10g	Si	200ml 混合酸（5 个体积 HCl+1 个体积 HNO_3，如果需要再加 HF）在 60℃～70℃溶解样品
钴合金（0.1%～0.5%Co）；0.15g～0.50g	Co	5mlHCl/HNO_3（3+1），小心温热
钴合金；见“硬质合金”		
氧化钴；2g	Cu、Mn、Ni	25ml HCl+少量水
铬铁矿；0.5g	Cr	10gNa_2O_2，刚玉坩埚
铬矿石；1g	Cr	15gNa_2O_2+2gNaOH+3g$NaKCO_3$，缓慢加热（10min）到红热；铁坩埚
铬矿石；1g	Fe，P	30ml 浓 $HClO_4$ 煮沸 3h～5h
铬；1g	Cr	15gNa_2O_2+2gNaOH+3g$NaKCO_3$，铁坩埚（衬一层熔融氢氧化钠）
铬；1g～2g	Si	40ml H_2SO_4（1+1）
铬；10g	S	250ml H_3PO_4（d=1.4），小心温热
铁铬合金；0.5g	Cr	8gNa_2O_2+4g$NaKCO_3$，在镍坩埚中熔融
铁铬合金；0.5g	Cr	8gNa_2O_2；再覆盖 2gNa_2O_2，5min；600℃～700℃；铁坩埚
铁铬合金；0.2g～1g	C，S	0.5gSn+1gFe；在 O_2 气流中燃烧，1350℃
铁铬合金；1g	Si	40ml H_2SO_4（1+4）
铁铬合金；1g～10g	N	100ml H_2O+（10～40）ml H_2SO_4
碳化铬；0.5g	Cr	10g～15gNa_2O_2，铁坩埚
碳化铬；1g	Fe	10ml～20ml $HClO_4$，铂皿；加热至冒烟
碳化铬；0.5g～1g	Si	5gNa_2CO_3+2gKNO_3（分几次加），铂皿中熔融
铬钢；见铁		
铬/镍合金；见镍		
铜矿石、黄铜矿、冰铜；2g～5g	Pb	20ml～40mlHNO_3（2+1）+20ml～40ml H_2SO_4（1+1），温热溶解，加热至冒烟
铜矿石、黄铜矿、冰铜；2g～5g	Bi，Sb	50ml HNO_3（2+1）
含铜渣、灰、刮屑；10g	Cu	加入 50ml H_2O、50ml HNO_3（1+1），10min 后加入 50ml HNO_3（2+1）和 2m～3m HF
纯铜；5g	Cu	42ml 混合酸（300ml H_2SO_4 + 210ml HNO_3+750ml H_2O）
沉积铜、黑铜、转炉铜、阳极铜；10g～20g	Cu	100ml H_2O+200ml HNO_3
废铜；10g	Cu、Ni、Pb	100ml HNO_3（1+1），溶解时冷却，然后加热
粗铜；25g	Cu、Bi、Ni、P、Pb、Sb、Sn	50ml H_2O，然后分几次加入 200ml HNO_3（1+1）溶解时冷却，然后加热

续表

样品：质量	待测元素	分解试剂[①]
粗铜；5g	Fe	40ml HCl（7+3）+40ml H_2O_2（30%）
粗铜；0.5g～5g	Se、Ti	25ml～125ml H_2SO_4（1+4），然后慢慢加10ml～30ml H_2O_2
铜合金；2g	Cu、Al、Bi、Be、Cd、Co、Cr、Fe、Mg、Mn、P、Ni、Pb、Zn	25ml HNO_3（1+1），然后用20ml H_2SO_4（1+1）加热至剧烈冒烟
铜合金；2g	Sn	25ml HNO_3(1+1)，$SnO_2\cdot aq$ 留于残渣中
青铜；2g	Sn、Cu、Pb	25ml HNO_3(1+1)，$SnO_2\cdot aq$ 留于残渣中
黄铜；1g～5g	Cu、Pb、Zn	20ml～50ml HNO_3（1+1）
铜合金；1g～2g	Si	20ml～40ml HNO_3（1+1），然后用20ml HCl加热至干
铜/硅合金；2g	Cu	25ml HNO_3（1+1），溶 SiO_2 于HF，电解测定铜
铜合金；1g	S	50ml 混合物（1kgHI（$d=1.7$）+500gHCOOH（98%～100%）+100g次磷酸钠）
铜/铝合金；见铝		
铜/铍合金；见铍		
铜/镍合金；见镍		
萤石精矿；0.7g	F	70ml $HClO_4$+约50ml H_2O，蒸馏氟化氢
CaF，AlF，Na_3AlF_6；0.1g	F	热水解，加0.4gV_2O_5，1h，1000℃～1050℃；镍设备
Na_3AlF_6；0.5g	F	2gSiO_2+8gNaKCO_3，最高700℃；铂坩埚
AlF_3，Na_3AlF_6；0.5g	Al、Ca、Fe	5g$K_2S_2O_7$，700℃；铂坩锅
AlF_3，Na_3AlF_6；0.5g	Si	12gH_3BO_3+5gNa_2CO_3，20min；1000℃；铂坩锅
CaF，AlF_3，Na_3AlF_6；0.2g	Ba	二次用4ml $HClO_4$ 加热至干，然后用5gNaKCO_3熔融残渣，1000℃；铂坩埚
Na_3AlF_6；0.5g	Na	5ml浓 H_2SO_4，加热至冒烟；铂皿
AlF_3，Na_3AlF_6；0.2g～0.5g	S	0.3ml～0.5ml $HClO_4$，加热至冒烟；铂皿
铁矿石；0.5g	Fe	几毫升水+25ml HCl，煮沸，加5ml HNO_3。用HF+H_2SO_4加热至干，再用3g$Na_2S_2O_7$熔融
铁矿石；0.5g	Fe	0.3gNa_2CO_3，800℃～1000℃烧结10min然后溶于30ml HCl（1+1）
铁矿石；0.5g～2g	Si	几毫升水+25ml HCl，煮沸，加5ml HNO_3。煮沸几分钟，然后用25ml $HClO_4$加热至冒烟
铁矿石；0.25g～1g	Al	10ml～20ml HCl+5ml～10ml HNO_3
铁矿石；0.5g～1g	Ca、Mg、Mn	30ml HCl+10ml HNO_3
铁矿石；0.5g	Ti	3gNaKCO_3+2g$Na_2B_4O_7\cdot10H_2O$，15min；900℃～1000℃
铁矿石；0.5g	V	4gNa_2CO_3+2g$Na_2B_4O_7\cdot10H_2O$；如果需要，加$NaNO_3$熔10min
铁矿石；1g	Cr	5gNa_2CO_3+5gNa_2O_2，镍坩埚，红热
铁矿石；0.5g～4g	P	20ml～50ml HCl+5ml HNO_3
铁矿石；0.5g～5g	全S	10gNa_2CO_3+5gNa_2O_2，镍坩埚
铁矿石；0.3g	Fe	2gNa_2O_2，锆坩埚，红热下熔融至清，用10ml水提取，然后酸化
铁矿石；0.1g	全Fe或Fe（Ⅱ）	10g缩合磷酸（85%H_3PO_4加热至300℃），石英管，在290℃加热30min，溶于水

续表

样 品；质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂[①]
黄铁矿；0.5g	S	15ml HNO_3+5ml HCl，室温下12h；煮沸赶 HNO_3
黄铁矿；0.5g～1g	Cu	35ml 王水+几滴 HF（40%），室温下几小时；煮沸赶 HNO_3
黄铁矿；0.5g	Cu	6g 混合熔剂（1 份 Na_2CO_3+1 份 K_2CO_3+2 份 Na_2O_2），三氧化二铝坩埚；熔块熔于 HCl
煅烧过的黄铁矿；5g	Cu	60ml HCl+30ml HNO_3+少许 $KClO_3$，室温下12h
煅烧过的黄铁矿；0.3g～0.5g	S	0.5g 金属钾+少许 Na_2CO_3，熔融；过量的钾溶于 CH_3OH 并蒸出 H_2S
煅烧过的黄铁矿；2g	Pb、Zn	20ml H_2SO_4+5ml 发烟 HNO_3（必要时可多加 HNO_3），（1～2）h；凯氏烧瓶
生铁、铸铁；1g	全 C	O_2 气流，（1200～1300）℃
生铁、铸铁；1g	游离 C	50ml HNO_3（1+1）+（1～2）ml HF
生铁、铸铁；1g～5g	Si	20ml～50ml HCl（1+1），然后用 HNO_3 氧化
合金钢；0.5g～2g	Si	30ml～50ml 混合酸〔1 个体积 HNO_3+3 个体积 $HClO_4$（60%）〕
铁、钢；0.2g	Mn	15ml HNO_3（1+1）
铬钢；1g	Mn	50ml H_2SO_4（1+5）
生铁、钢 0.5g～2g	P	20ml～50ml HNO_3（1+1），如果需要，可加 HF，最后氧化用 $KMnO_4$
铬钢；0.2g～0.5g	P	40ml HNO_3（1+1）+15ml HCl+40ml $HClO_4$+10～15 滴 HF
生铁、钢；0.5g～1g	S	O_2 气流，1400℃
生铁、钢；5g～10g	S	100ml HCl
钢；1g	B	15ml H_2SO_4（1+1）+5ml H_2O_2（15%），回流下
铬钢；0.25g～2g	Cr	60ml H_2SO_4（1+5）+10ml H_3PO_4，最后氧化用 HNO_3
钴钢；0.25g～1g	Co	20ml～40ml HCl（1+1）+HNO_3；如果需要，可用 20ml $HClO_4$ 加热
含铜钢；2.5g	Cu	40ml HCl（2+1）+10ml HNO_3
钢；5g～10g	Mg	70ml HCl；用 3.5ml HNO_3+0.25g～0.5g$KClO_3$ 氧化
钼钢；0.25g～10g	Mo	20ml～70ml H_2SO_4（1+5），最后氧化用 HNO_3
镍钢；1g～3g	Ni	10ml～20ml $HClO_4$（60%）
含碲钢；2g	Te	20ml HBr/Br_2〔95ml HBr+5ml Br_2〕
刀具钢；0.5g～3g	V	60ml H_2SO_4（1+5）+10ml H_3PO_4，最后氧化用 HNO_3
钨钢；0.5g～5g	W	50ml～100ml HCl（1+1）
铬/镍钢；0.5g	Cr	10ml $HClO_4$+10ml H_3PO_4
铬/镍钢；0.5g	Ni	10ml $HClO_4$+20ml HNO_3/HCl（10ml HNO_3+30ml HCl+40ml H_2O）
铁类合金；见其他合金成分项		
镓；2g	Cu、Fe、Zn	30ml HCl（1+1）+5ml HNO_3（1+1）
三氧化二镓；0.5g	Ga	10ml HCl
锗原料；0.5g～1g	Ge	2.5g～5gNa_2CO_3；用少量 Na_2O_2 覆盖，缓慢升温熔融
二氧化锗；5g	As	10ml 水+10ml HNO_3+100ml HCl 煮沸 1h～2h
铟（原料）；1g～2.5g	In	25ml HNO_3+25ml H_2SO_4，加热至冒烟

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂①
铟；1g	Cd、Pb、Zn	15ml HBr
铟；1g	Cu	10ml HNO_3（1+1）
铟；5g	Fe、Tl	25ml HCl
铟；25g	Sb、Sn	30ml $FeCl_3$ 溶液（100g$FeCl_3\cdot 6H_2O$，加 HCl 至 1L）+50ml 用 Br_2 饱和的浓 HCl
汞矿石、熔渣、半成品；1g～10g	Hg	5ml～10ml H_2O+（15～60）ml 混合酸（HCl+$HNO_3$5+1）
锂矿石；0.2g	Li	5ml H_2SO_4+10mlHF
锂；2g	K，Na	50ml 二氧杂环己烷，然后加 5ml 二氧杂环己烷/H_2O（1+1）
锂化合物；100g	Al、Ca、Fe、K、Mg、Na	200ml H_2O+250ml HCl
镁；0.5g～1g	Al、Fe	（15～20）ml HCl（1+1）
镁；0.1g～1g	Cd、Zn	5ml H_2SO_4（1+1）
镁；2g	Cl	45ml HNO_3（1+1）
镁；1g	Cu	50ml H_2O+10ml H_2SO_4（1+1）+5ml HNO_3（1+1）
镁合金；1g	Al、Cd、Cr、Fe、Pb、Zn	50ml H_2O+10ml H_2SO_4（1+1）
镁合金；1g	Ca，稀土，Ni、Th、Zr	25ml HCl（1+1）
镁合金；1g	Cu、Mn	100ml H_2SO_4（1+1），然后加 5ml HNO_3（1+1）
镁合金；1g	Si	50ml 溴水，14ml H_2SO_4（70ml H_2SO_4 加水至 250ml）
镁合金；1g	Cu	25ml H_2O+13ml HBr/Br_2（250ml HBr 中加 1 滴 Br_2）
镁/铝合金；1g	Al	25ml HCl（1+1）
镁/镉合金；1g～2g	Cd	25ml H_2SO_4（1+9）
镁/铜合金；1g～2g	Cu	50ml HCl（1+1）滴加 30%H_2O_2
锰矿石；0.3g～0.4g	Mn	10ml HCl+10ml HNO_3+（4～5）ml HF+10ml $HClO_4$、加热至冒 $HClO_4$ 烟
锰矿石；1g	Mn、Fe、P	50ml HCl
锰矿石；0.2g～0.4g	Si	6gKOH，3min～4min；（450～500）C；银皿
锰矿石；5g	As	15gNa_2O_2，镍坩埚
锰；1g	Mn	30ml HNO_3
锰；1g	Si	30ml 混合酸〔6 个体积 $HClO_4$（60%）+1 个体积 HNO_3〕
锰铁合金；0.25g	Mn	15ml HNO_3（1+3）+8ml $HClO_4$
锰铁合金；1g	Mn，P	30ml HNO_3
锰铁合金；1g	Si	30ml HNO_3+60ml H_2SO_4（1+1）
锰铁合金；1g	Cr	12gNa_2O_2+6gNaKCO$_3$，镍坩埚
锰铁合金；2.5g	As	20gNa_2O_2，镍坩埚
硅锰合金；0.3g	Mn	10ml HF，然后滴加 HNO_3，最后用 8ml $HClO_4$ 加热至冒烟
二氧化锰（电解的）；5g	Co、Cu、Fe、Ni	30ml 6mol·L^{-1}HCl+1ml H_2O_2（30%）
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；1g	Mo	15gNa_2O_2 与样品混合，再覆盖 5gNa_2O_2，铁坩埚
煅烧过的钼矿石；1g	Al	5g$K_2S_2O_7$，铂皿
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；1g～2g	Bi	5ml H_2SO_4+5ml～10ml HNO_3，铂皿；加热至冒烟
煅烧过的钼矿石；1g	Ni	用 10ml NH_3 蒸发，然后用 6ml HF 处理，聚四氟乙烯皿
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；0.5g	P	25ml HCl+20ml HNO_3+10ml $HClO_4$ 加热至冒烟

续表

样　品；质　量	待　测　元　素	分　解　试　剂[①]
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；1g	Pb、Sn、	10ml HNO_3 用氨水提取残渣，钼溶解
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；1g～2g	Re	1g$NaClO_3$+20ml HNO_3
煅烧过的钼矿石；1g	Sb	10ml H_2SO_4（1+1）+20ml HF+10 滴～15 滴 HNO_3，铂皿；蒸发至干
二硫化钼精矿、煅烧过的钼矿石；1g	Se	8gNa_2O_2 + 3gNa_2CO_3，然后再覆盖 2gNa_2O_2，镍坩埚
煅烧过的钼矿石；0.5g～1g	Zn	10g$NaKCO_3$，铂皿
钼；0.5g	Mo	20ml～40mlHNO_3（1+1）
钼铁合金；1g	Mo	15gNa_2O_2，镍坩埚
钼铁合金；0.5g	Mo、Si	10ml HNO_3（1+1）+10ml H_2SO_4（1+1），加热至冒烟
钼铁合金；3g	W	50ml HCl（1+1）+HNO_3（滴加）
钼铁合金；1.25g	Cu、P	20ml HCl+5ml HNO_3
三氧化钼；1.5g	Si	2.5gNa_2CO_3 与样品混合，再覆盖 2.5gNa_2CO_3，铂皿
铌、钽矿石、精矿；1g	Nb、Ta、Al	10g$K_2S_2O_7$，铂皿
铌、钽矿石、精矿；1g～2g	Nb、Ta	18gNa_2O_2 与样品混合，再覆盖 5gNa_2O_2，镍坩埚
铌、钽矿石、矿渣；1g～2g	Nb、Ta	用 2ml H_2SO_4 加热至干，然后用 15gNa_2O_2 熔融，再用 5gNa_2O_2 进行第二次熔融，三氧化二铝坩埚
铌、钽精矿；1g	Ca	20g～25gNa_2O_2，镍坩埚
钽矿石；0.1g～1g	F、Cl	加 1gSiO_2+0.5gV_2O_5，热水解 1000℃～1300℃；石英仪器
铌、钽精矿；1g	Si	用 10g$K_2S_2O_7$ 熔融，然后用 40ml H_2SO_4 加热至干，铂皿
铌、钽精矿；1g	Si	18gNa_2O_2+5gNa_2CO_3，镍坩埚
铌、钽精矿；2.5g	Sn	20g～25gNa_2O_2，铁坩埚
铌、钽精矿；0.1g	Ti	4g$K_2S_2O_7$，铂皿
钽矿钽石；0.25g	U	用 0.5ml H_2SO_4+0.5ml$HClO_4$ 蒸发至干，然后用 3g$K_2S_2O_7$ 熔融，石英坩埚
铌、钽精矿、矿渣；1g	Zr	15g$NaKCO_3$+2gH_3BO_3，铂皿
铌、钽；2g	Nb、Ta	10ml HF，滴加 HNO_3，铂皿
铌；10g	Ta、Fe	25ml HF；滴加 HNO_3；用 40ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟，铂皿
钽；2g	Nb	灼烧 30min；然后用 10g$K_2S_2O_7$ 熔融，石英坩埚
铌、钽；5g	Mo、W	30ml HF，然后滴加 HNO_3，聚四氟乙烯皿
铌；0.5g	Mo、W	10ml H_2SO_4+3gNH_4HSO_4，铂坩埚
铌；0.5g	Fe	2ml HF，滴加 HNO_3（1+1），铂坩埚
铌、钽；1g～5g	Co、Cu、Fe、Mn、Ni	10ml～30ml HF，滴加 HNO_3，铂皿
铌；1g	N	10ml HF+5ml HCl，然后加 HF+H_2O_2，铂坩埚
钽；0.5g	N	1g$K_2Cr_2O_7$+2mlH_3PO_4+10mlHI，聚四氟乙烯皿
铌铁合金；0.5g	Nb、Ta、Ti	40ml 混合酸（200ml HCl+300ml H_2O+200ml HF 用 H_2O 稀至 1L）；最后滴加 HNO_3 塑料器皿
铌钽-铁合金；1g～2g	Nb、Ta	15gNa_2O_2+2.5gK_2CO_3+2.5gNa_2CO_3，镍坩埚
铌钽-铁合金；1g	Nb、Ta	18gNa_2O_2 熔融；然后再用 10gNa_2O_2 熔融，三氧化二铝坩埚
铌钽-铁合金；0.5g～1g	Si、Ti	20g$K_2S_2O_7$，铂皿

续表

样 品；质 量	待 测 元 素	分 解 试 剂[①]
铌钽-铁合金；1g～2g	Sn	15gNa_2O_2，镍坩埚
碳化钽/铌；0.1g～0.2g	Mo、W	1ml HF，2滴～3滴 HNO_3；用 H_2SO_4 冒烟，铂皿
氧化钽/铌；0.25g	Mo，W	2g～3g$NaKCO_3$，铂皿
氧化钽/铌、碳化钽/铌；1g～5g	Co、Cr、Fe、Mn	10ml～30ml HF；滴加 HNO_3，铂或聚四氟乙烯皿
氧化钽、碳化钽；0.1g～1g	B	5g $(NH_4)_2SO_4$＋20ml H_2SO_4，带有回流冷凝管的熔融石英烧瓶
氧化铌/钽；0.5g～1g	Si	5gNaOH，镍坩埚
氧化铌/钽；1g	P	12gNa_2O_2，镍坩埚
镍矿石和矿渣；2g～5g	Ni、Co、Cu	10ml H_2O＋25ml HNO_3 用 40ml H_2SO_4（1＋1）冒烟
镍；2.5g	Ni	50ml HNO_3（1＋1），若需要可加 10ml HCl
镍；1g	Co、Fe	20ml HNO_3（2＋3），用 10ml HCl 蒸发至干
镍；10g	Cu、Mn、Pb、Zn	100ml HNO_3（2＋3）
镍；2.5g	Al、Mg	25ml HNO_3（1＋1）
镍；1g	Si	25ml HNO_3（1＋4）
镍/铁合金；5g	Ni	50ml H_2SO_4＋50ml HNO_3
镍/铜合金；	Co、Cu、Fe、Ni、Mn	20ml 混合酸（200ml H_2O＋200ml HNO_3＋600ml $HClO_4$）
镍/铜合金；1g～2g	Sn	5ml HCl＋20ml HNO_3（1＋1）
镍/铬合金；0.5g	Ni	20ml 混合酸（10ml HNO_3＋40ml H_2O＋30ml HCl），用 10ml $HClO_4$ 冒烟
镍/铬合金；0.5g	Cr	10ml $HClO_4$＋10ml H_3PO_4
镍/铍合金；见铍项		
磷酸盐矿石；0.1g	P、Fe、Si	4g 混合熔剂（100g $NaKCO_3$ ＋ 30g $Na_2B_4O_7$＋0.5g KNO_3），5min；亮红热；铂坩埚
白磷或红磷；1g	微量元素	50ml 7mol・L^{-1} HNO_3，石英器皿
P_2O_5；0.5g	P、S	40ml NaOH（5%）＋10gNa_2O_2，用 H_2O 稀至 150ml，然后煮沸 15min
P_2O_5；1g	Fe	10ml NaOH（30%）＋30ml H_2O_2（15%），石英烧杯
磷铁合金；0.5g	P	20ml HNO_3（用 Br_2 饱和）＋1ml H_2SO_4＋（1～2）ml HF 铂皿
磷铁合金；1g	P	3g$NaKCO_3$＋5g～7gNa_2O_2，三氧化二铝坩埚
磷铁合金；0.2g～0.5g	Mn	HF＋HNO_3，用 15ml H_2SO_4（1＋1）冒烟
磷铁合金；0.3g	Si	40ml 1.5mol・$L^{-1}$$H_2SO_4$＋10ml 3mol・$L^{-1}$$HNO_3$＋2.5ml HF，＞3h；80℃；聚丙烯烧杯
磷铁合金；2.5g	Cr、Mn、V	20ml HNO_3＋5ml H_2SO_4＋5ml HF，铂皿
铜银磷合金；0.5g	P	25ml HNO_3（2＋3）
磷酸盐、聚磷酸盐；0.5g	Fe、P	4gNaOH，30min；400℃；金皿
聚磷酸盐；1.5g	P、碱金属	用 25ml 0.5mol・$L^{-1}$$H_2SO_4$ 煮沸 3h，回流下煮沸
铅矿石；2g	Pb、Bi、Sb、Sn	10gNa_2O_2 与样品混合；再用 Na_2O_2＋1g-NaOH 混合物覆盖，铁坩埚
铅矿石；1g	Pb、Zn	30ml $HClO_4$＋3ml HNO_3
铅矿石；2g	Cu	30ml HCl；温热至释出 H_2S，加 5ml HNO_3 蒸发至小体积
铅矿石；1g～2g	Zn	用 20ml HCl 煮沸，然后加 10ml HNO_3＋20ml H_2SO_4（1＋1）并蒸发至干
铅矿石；1g～5g	As	用浓 HNO_3 分解，然后用 20ml H_2SO_4 冒烟

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂①
铅；2g～5g	Cu、Zn	10ml～20mlH_2SO_4
铅；10g	Bi、Sb、Sn	40ml 酒石酸溶液 0.2g·ml^{-1}＋25ml HNO_3
铅；25g	Fe、Zn	250ml HNO_3（1＋1）
铅；50g	As、Fe、Sb、Sn	250ml HNO_3（1＋4）
铅；20g	Ag、Bi、Cu	100ml HNO_3（1＋3）＋1g 酒石酸
铅；10g	As	300ml $FeCl_3$ 溶液（250g$FeCl_3\cdot 6H_2O$ 加 HCl 至 1L）
铅合金；2g	Pb、Cu	20ml HBr/Br_2（20ml Br_2＋180ml HBr）
铅合金；10g	Pb、Te、Sb、Sn	100ml HCl/Br_2（10ml～15ml Br_2＋100ml HCl）
铅合金；（硬铅）；10g	Pb、Cd、Cu	100ml HNO_3（1＋1）＋100ml 饱和酒石酸溶液
铅合金；10g	Ba、Ca、Fe、Li、Na、Ni、Sn、Zn	60ml HNO_3（1＋2）
铅合金；2g～10g	Al、As	20ml～60mlH_2SO_4
铅合金；10g	Sn	50ml HCl（如果需要，可加些 $KClO_3$）
四氧化三铅；1g	Pb，杂质	15ml 2mol·$L^{-1}HNO_3$＋3ml H_2O_2（3%）
四氧化三铅；10g	金属铅	50ml 乙酸铵（50%）（5g $N_2H_4\cdot HCl$＋CH_3COOH，加水至 150ml）
PbO；2g	Pb	30ml HNO_3（1＋2），用 H_2SO_4（1＋1）冒烟
纯铂；1g	Pt	20ml 王水，然后加 3ml～5ml HCl（1＋1）蒸发 5 次
纯钯；0.25g	Pt、Pd、Ir、Rh	20ml 稀王水（1＋1）
铑；1g	Rh、Pd、Pt、Au	氯化，溶于王水（$RhCl_3$ 保持不溶），氯化温度为 700℃
钌；1g	Ru、Os、Pd、Ir、Rh、Pt	8g KOH＋1gKNO_3，镍、银或金坩埚
锇；10g	Os	氧气流，600℃～850℃；生成 OsO_4
锇；1g	Ru、Rh、Pd、Ir、Pt	4gKOH＋1g KNO_3
铱；1g	Ru、Rh、Pd、Os、Pt	氯化，600℃；用稀王水（1＋2）提取残渣
铱锇矿；1g	Os、Ir、Rh、Ru、Pd、Pt、Au	8g KOH＋1g KNO_3，用各种方法处理残渣
铂灰；0.5g～1g	Pt	15ml 王水
钯灰；0.5g～1g	Pd	15ml 王水
阳极泥；5g～12.5g	Pd、Pt、Ag、Au	60ml H_2SO_4，煮沸 20min
催化剂；6g～10g	Pt	稀王水（1＋3），12h；水浴
锑矿石、矿渣、飘尘；2g	Sb、Sn	20g Na_2O_2，700℃；铁坩埚
锑矿石、矿渣、飘尘；2g	As	20ml HNO_3，用 20ml H_2SO_4（1＋1）冒烟
锑矿石、矿渣、飘尘；5g	Cu、Pb	100ml HBr＋10ml Br；蒸发，用 50ml HNO_3（1＋1）冒烟残渣
锑；0.2g	Sb	20ml H_2SO_4；然后加 40ml HCl＋30ml H_2O
锑；2.5g	Bi、Sn	50ml HCl/Br_2（150ml Br_2＋100ml HCl）
锑；5g～10g	As	250ml $FeCl_3$ 溶液（350g $FeCl_3\cdot 6H_2O$＋1000mlHCl）
锑；10g	Cu、Fe、Ni、Pb、Zn	200ml HCl/Br_2（150ml Br_2＋100ml HCl）
锑；5g	S	30ml HBr（2＋1）
锑合金；见锡		
Sb_2O_5；0.14g	Sb	10ml H_2SO_4＋0.5g S，煮沸除硫滴定锑（Ⅰ）
硒和碲矿石、精矿；50g	Se、Te	用水润湿，然后加 200ml HNO_3
硒；1g	Se	30ml H_2O＋2g$KBrO_3$
硒；25g	Te	50ml HNO_3（d＝1.3），用 20ml H_2SO_4（1＋1）蒸发 2 次

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂[1]
含硒岩石和沉积物；0.5g～1g	Se	30g 缩合磷酸（85%H_3PO_4 加热至 300℃）和 0.1gNH_4Br，玻璃烧瓶，慢慢加热至 290℃，在空气流中蒸出 $SeBr_4$
碲；0.5g	Te	50ml HCl（1+1）+1g$KBrO_3$
碲；10g	Se	100ml HCl（1+1）+8g～10g$KBrO_3$
纯硅；1g	Al、Ca、Fe、Na、P、Ti	1ml H_2SO_4（1+1）+20ml HF，然后滴加 3ml HNO_3；再用 1ml HF+5ml HNO_3+5ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟
硅；硅铁合金；0.4g～0.5g	Si	5g$KNaCO_3$；覆盖 1gNa_2CO_3 熔融；分次加入 8gNa_2O_2 并再熔融，镍坩埚
硅铁合金；0.1g	Si	40ml 1.5mol·$L^{-1}H_2SO_4$+10ml 3mol·$L^{-1}HNO_3$+2.5ml HF（40%），3h；80℃；聚丙烯烧杯
硅铁合金；1g～2g	Fe、Si	20ml～30ml HF，滴加 HNO_3，铂皿
硅铁合金；1g	Al、Ca、Fe、Ti	像处理纯硅一样用 HF/H_2SO_4 冒烟，用 $Na_2B_4O_7$ 在 1100℃熔融残渣
硅铁合金；0.25g	Al、P	10ml HNO_3（1+1）；分次加 5ml HF，铂皿
锰硅合金；1g	Si	5g$NaKCO_3$；覆盖 2g$NaKCO_3$，然后分次加 2g Na_2O_2，镍坩埚
锰硅合金；1g	Mn	30ml HNO_3+2ml HF，铂皿
Si_3N_4；0.25g	Al、Ca、Fe	15ml HF（20%～30%），6h；150℃；有电磁搅拌的聚四氟内衬增压器
SiC；0.2g	C	3g 硼酸铅；氧气流，1h；未上釉瓷舟
石英、砂子；1g～2g	主要杂质	在 1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）溶液中放置 12h，然后用 5ml HF+0.5ml H_2SO_4 冒烟，金皿，溶于 HCl（1+1）
硅酸盐（普通）；	主要成分	把样品与 8 倍样品量的 Na_2CO_3 混合，开足喷灯熔融 30min，不适于难溶硅酸盐
		样品与 8 倍样品量的 Na_2CO_3+$Na_2B_4O_7$ 混合，开足喷灯熔融 30min，适于所有的硅酸盐，包括锆矿石
		0.5g 样品+2gNa_2O_2+1.5gNaOH；于 440℃烧结 30min～60min，适于难溶硅酸盐；不适于锆矿石
		0.5g 样品+2gKHF_2；小心驱除水分，然后开足喷灯加热 1min，适于所有的硅酸盐
		0.5g 样品+3gLiF+2gB_2O_3；开喷灯加热 15min；不适于所有的难溶硅酸盐
		0.2g 样品+1g$LiBO_2$；950℃加热 10min～15min，不适于所有的难溶硅酸盐，或锆矿石
硅酸盐（普通）；0.25g	Al、Ca、Fe、K、Mg、Na、Si、Ti	0.5ml HCl+3mlHF+1ml HNO_3，15h；140℃；聚四氟乙烯内衬增压器；用原子吸收光谱法测定
硅酸盐（普通）；0.1g	Al、Fe、K、Na、Mg、Ti	3mlH_2SO_4+5ml HF（重复加）；水浴；铂皿；用原子吸收光谱法测定
硅酸盐（普通）；0.1g	Al、Ca、Fe、Mg、Na	3ml$HClO_4$+5ml HF（重复加）；水浴；铂皿；用原子吸收光谱法测定
硅酸盐（普通）；0.25g	Ca、Co、Cr、Fe、K、Mg、Na	1.5g$LiBO_2$，铂坩埚，在 1000℃加热至熔体清晰，溶于 125ml 2.5mol·L^{-1}HCl；用原子吸收光谱法测定
硅酸盐（普通）；	主要成分（Si、B、F 除外）	HF+$HClO_4$
0.1g～0.2g		0.5ml H_2O+5ml HF+1ml $HClO_4$；用 1ml 高氯酸重复冒烟；用 2ml HCl（1+1）溶解
0.5g		1ml H_2O+10ml HF+2ml $HClO_4$；用 1ml 高氯酸重复冒烟；用 5ml HCl（1+1）溶解
1.0g		1ml H_2O+10ml HF+2ml $HClO_4$；用 2ml $HClO_4$ 重复冒烟；用 10ml HCl（1+1）溶解

续表

样　品；质　量	待　测　元　素	分　解　试　剂[①]
含二氧化硅低的矿物；1g	主要成分	1ml H_2O+25ml HCl（1+1），温热
含三氧化二铬小于1%的硅酸镁；1g～2g	主要成分	30ml HCl（1+1）+0.5ml H_2SO_4（1+1）
硅酸盐；1g	碱金属	1ml H_2O + 10ml HF + 2ml $HClO_4$；用 $HClO_4$ 重复冒烟
硅酸盐，玻璃；0.3g	B	1g～2gNaOH；金或银皿；10min；150℃
硅酸盐；约0.2g	F	热水解；与1.5倍样品量的 U_3O_8 混合；950℃；维克玻璃仪器
杜南玻璃；1g	F	热水解；与1.5gU_3O_8 混合；950℃；维克玻璃仪器
硅酸盐；1g～2g	Ti、Zn	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；放置12h，然后加热至冒烟；用5ml HF+0.5ml H_2SO_4 重复冒烟；用2ml H_2SO_4 溶解残渣
硅酸盐；1g	Se	1ml H_2O+10ml HF+10ml HNO_3，蒸发至干；加5ml HNO_3 再蒸发至干；用10ml H_2O 溶解残渣
硅酸盐；1g	P、Si	5g NaOH；30min；450℃；金皿；残渣溶于75ml HCl（1+1）
铝硅酸盐（锂云母、长石、高岭土）；1g	主要成分（除Si、B、F外）	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1），放置30min～12h，然后加热至冒 H_2SO_4 烟。加5ml HF和1ml H_2SO_4 再冒烟。在500℃加热5min，然后加7.5gNa_2CO_3+2.5g$Na_2B_4O_7$ 并在1000℃熔融
高岭土，碱金属小于1%而铝、钡高的硅酸盐；1g	主要成分	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；放置30min～12h，然后加热至冒烟；加5g $K_2S_2O_7$ 加热至350℃，再在550℃熔10min；残渣溶于10ml HCl（1+1）110ml H_2O
高铝铝硅酸盐；0.5g		2.5g Na_2CO_3+1.5g $Na_2B_4O_7$
水泥（波特兰水泥、波特兰矿渣水泥、火山灰水泥）	Al、Ca、Fe、Mg、Si	2.5g NH_4Cl+10ml HCl
铝硅酸盐（粘土、长石、陶瓷等，Al_2O_3 小于45%）；1g	Si	2g Na_2CO_3
铝硅酸盐（Al_2O_3 小于45%）；1g	Si	2.5gNaKCO_3+1g$Na_2B_4O_7$
铝硅酸盐（Al_2O_3 小于45%）；1g		在10ml HF+1ml约9mol·$L^{-1}H_2SO_4$ 混酸中放置30min～60min；加热至冒硫酸烟，用10ml HF+1ml H_2SO_4 蒸发至干，加热至600℃5min 然后在 950℃～1000℃用2.5gNa_2CO_3+1g$Na_2B_4O_7$ 熔融
富铝红柱石；1g	Al、Ca、Fe、Mg、Si、Ti	2g Na_2CO_3；60min；1100℃；铂坩埚
富铝红柱石；1g	Ca、Fe、Mg、K、Na	5ml HNO_3（1+1）+5ml HClO4（1+4）+10mlHF；蒸发至干，再加5ml $HClO_4$（1+4）蒸发至干并重复；使用铂坩埚
钠-钙玻璃；1g	Si	2gNa_2CO_3 与样品混合，再覆盖1gNa_2CO_3；15min～20min；1000℃铂坩埚
钠-钙玻璃；2.5g	Al、Ca、Fe、Mg、K、Na、Ti	3ml H_2O+20ml HF+2ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟，再加5ml HF蒸发至干，于550℃加热残渣15min～20min；于铂皿中，残渣溶于10ml HCl（1+1）
钠-钙玻璃；1g	K、Na	1ml H_2O+10ml HF+2ml $HClO_4$；加热至冒烟，再加2ml HF并加热至干，加2滴～3滴 $HClO_4$ 加热至冒烟；铂皿；残渣溶于50ml水
钠-钙玻璃；2.5g	S	6g Na_2CO_3 与样品混合，再覆盖1.5gNa_2CO_3；10min；1100℃；铂皿
试管玻璃；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Ti、Mg	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；铂皿
试管玻璃；1g	K、Na	1ml H_2O+10ml HF+1ml $HClO_4$；铂皿
硼硅酸盐玻璃；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Mg、Ti、Zn	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；铂皿

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂①
硼硅酸盐玻璃；0.25g	B	4g NaOH；30min；400℃；金皿
乳白玻璃；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Mg、Ti、Zn	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；铂皿
乳白玻璃；0.5g	Ca、K、Na、Mg、Zn	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；铂皿
乳白玻璃；1g	P	4g NaOH；30min；400℃；金皿
磷酸盐玻璃；1g	Al、P	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；加热至冒烟，加5ml HF+1ml H_2SO_4 再加热至冒烟。用10g Na_2CO_3+0.2g $NaNO_3$ 熔融10min。用120ml H_2O 提取，过滤，再用3.5g Na_2CO_3+1.5g $Na_2B_4O_7$ 熔融残渣
萨普雷马克玻璃；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Mg、Ti、Zn	1ml H_2O+10ml HF+1ml H_2SO_4（1+1）；加热至冒烟，加5ml HF和1ml H_2SO_4 加热至冒烟。在500℃加热5min，用10g Na_2CO_3+0.2g$NaNO_3$ 熔融残渣
萨普雷马克玻璃；1g	K、Na	1ml H_2O+10ml HF+1ml $HClO_4$；铂皿
萨普雷马克玻璃；1g	Si	5g Na_2CO_3；铂坩埚
铅玻璃，0.5g	Pb	1ml H_2O+10ml HF+2ml $HClO_4$；铂皿；残渣溶于HCl（1+1）
铅结晶玻璃；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Pb、Ti	1ml H_2O+10ml HF+2ml $HClO_4$；加热至冒烟；加1ml $HClO_4$ 再加热至冒烟；铂皿；残渣溶于10ml HCl（1+1）
制造安瓿的棕色玻璃；1g	Sb	几滴 H_2O + 10ml HF + 0.5ml ~ 1ml $HClO_4$；铂皿
制造安瓿的棕色玻璃；0.3g~0.5g	As	3g~5g Na_2CO_3；铂坩埚
锡矿石，灰分，矿渣；2g~5g	Sn、Sb、W	10g~20g Na_2O_2+5g~10g NaOH；慢慢加热至暗红色；铁坩埚
锡矿石；5g	As	20ml HNO_3（1+1），煮沸；加20ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟
纯锡；1g	As、Sb	15ml 沸 H_2SO_4；冒烟15min
锡合金；1g	Sn、Cd、Cu、Pb、Sb、Zn	25ml Br_2/HCl（150ml Br_2+1000ml HCl）；缓慢加热
青铜；2g	Cu、Pb	25ml HNO_3（1+1）；$SnO_2\cdot aq$ 留于残渣中
青铜；1g~2g	Sn	5ml HCl+20ml HNO_3（1+1）
青铜；1g	Sn	60ml HCl（1+1）+7ml H_2O_2（30%）
铜/锡/铅合金；0.6g~1g	Pb	5ml HBF_4+10ml HNO_3（1+1）
铅/锡合金（焊料）；0.3g~1.5g	Sn	20ml H_2SO_4+5g$KHSO_4$
铜/铅/锡/锑合金（轴承合金）；0.3g~2g	Sn	20ml H_2SO_4+5g$KHSO_4$
铜/铅/锡/锑合金；2g	Cu、Pb	20ml Br/HBr（20ml Br_2+180ml HBr）
铅/锡/锑合金；5g	As	20ml H_2SO_4+15g$KHSO_4$
铅/锡/锑合金；2g	Cu	20ml Br_2/HBr（20ml Br_2+180ml HBr）
天青石（$SrSO_4$）；1g	Al、Ba、Ca、Fe、Si、Sr	与2gNa_2CO_3混合，再覆盖7g~9gNa_2CO_3；在铂坩埚内烧结，然后在1100℃加热45min，溶于50ml热 H_2O
钽；见铌		
碲；见硒		
二氧化钍；1g	Th	5ml~10ml $HClO_4$；加热至冒烟；加1滴HF并温热
钛矿石；0.15g~0.25g	Ti	1.5g~2.5g$K_2S_2O_7$；石英坩埚
钛矿石；1g	Al、Cr、Ti、V	7gNaOH+3gNa_2O_2；镍坩埚
二氧化钛精矿；0.2g~0.3g	Ti	5gNa_2CO_3/K_2CO_3/$Na_2B_4O_7$（1+1+1）；铂坩埚；950℃
钛铁矿；0.2g~0.3g	Ti	5gNa_2CO_3/K_2CO_3/$Na_2B_4O_7$；铂坩埚；950℃

续表

样品；质量	待测元素	分解试剂[①]
纯钛，海绵钛；1g	Cl、Fe、Mg	10ml H_2O+5ml HF（滴加）
纯钛；0.5g	Al、Mg	40ml H_2SO_4（1+4）
纯钛；1g	Fe	50ml HCl（1+1）+6滴 HF
纯钛；0.5g	Si	40ml H_2O+5ml HF（150ml HF+350ml H_2O）
钛/铝合金；0.5g	Al	40ml H_2SO_4（1+4）
钛/铬合金；0.25g~0.50g	Cr	50ml H_2SO_4（1+4）
钛/钒合金；0.5g~1g	V	50ml~100ml H_2SO_4（1+4）
钛铁合金；1g	Al、Ti	30ml HCl（1+1）
钛铁合金；0.5g	Ti	40ml H_2SO_4（1+1）
钛铁合金（酸不溶）；0.5g	Ti	12gNa_2O_2+4gNa_2CO_3；氧化铝坩埚
钛铁合金；2.5g	Cr、V	100ml HCl（1+1）+90ml H_2SO_4/H_3PO_4〔320ml H_2SO_4（1+1）+80ml H_3PO_4 加水至1000ml〕
二氧化钛颜料；见无机颜料		
铊原料；2g	Ti	25ml HNO_3（1+1）+25ml H_2SO_4（1+1）
铊；5g	Ag、Bi、Cd、Cu、Fe、Hg、Zn	20ml HNO_3（1+1）
铊；5g	As	30ml H_2SO_4
铀矿石；0.5g~4g	U	5ml HNO_3+30ml HF；加热至干，再加2~5mlH_2SO_4 并加热至冒烟
铀精矿；10g	U	少许 H_2O+50ml HNO_3（1+1）
铀精矿；1g	B	10ml H_3PO_4
钒矿石；5g	V、Pb	40ml HNO_3（1+1）+20ml HCl（1+1），如果需要，加几滴 HF；加 80ml H_2SO_4（1+1）加热至冒烟
钒矿石，矿渣，残渣；2g	V	15gNa_2O_2+5gNa_2CO_3；铁坩埚
钒 铁合金；0.25g	V	30ml 混合酸〔600ml HNO_3（1+1）+300ml H_2SO_4+30mlHCl（1+1）〕
钒铁合金；2g	Si	15g Na_2O_2；镍坩埚
钨矿石；2.5g	W、Mo	15g $NaKCO_3$；镍坩埚或铂皿
钨矿石；2g	W、Mo、As、Sn	20g $NaKCO_3$；镍坩埚
钨矿石；1.25g	Fe、Mn	25g Na_2O_2；氧化铝坩埚
钨矿石；1g	As	15g Na_2O_2+5g $NaKCO_3$；镍坩埚
钨矿石；1g~2g	Ca	10g Na_2O_2+5g $NaKCO_3$；氧化铝坩埚
钨矿石；0.1g~1g	Cl、F	热水解；加 1gSiO_2+0.5gV_2O_5；1000℃~1300℃
钨矿石；2.5g	P	100ml 王水
钨/锡矿；2.5g	Sn	25g Na_2O_2；铁坩埚
钨矿石；0.25g	U	0.5ml H_2SO_4+0.5ml $HClO_4$；加热至冒烟再用 3g$K_2S_2O_7$ 熔融；石英坩埚
钨；1g	W、Sn	空气中 700℃氧化，然后用 12g$NaKCO_3$；铂坩埚熔融
钨；1g	Ca、Fe、K、Mo、Na（微量）	5ml HF+HNO_3（滴加）；铂坩埚；水浴上；用原子吸收光谱法测定
钨粉；2g	Fe、Mo	2ml~3ml H_2O+10ml H_2O_2（30%）（分几次加入）
H_2WO_4；2g	Fe、Mo	2ml~3ml H_2O+10ml H_2O_2（30%）（分几次加入）；溶于 25ml NaOH（0.3g·ml^{-1}）
WO_3；3g	Si	2.5g Na_2CO_3；再用 2.5g Na_2CO_3 覆盖；铂皿
WO_3；0.1g~1g	B	20ml H_2SO_4+5g $(NH_2)_4SO_4$；石英烧瓶；回流冷凝管
碳化钨；1g	Ca、Fe、K、Mo、Na	5ml HF+HNO_3（滴加）；铂皿，水浴上

续表

样　品；质　量	待　测　元　素	分　解　试　剂①
碳化钨；0.1～1g	B	20ml H_2SO_4＋5g $(NH_4)_2SO_4$；石英烧瓶；回流冷凝管
碳化钨-锡；0.2g～0.3g	Ti	10g Na_2O_2；用5g$K_2S_2O_7$＋10滴H_2SO_4熔融残渣；氧化铝坩埚
锌原料、飘尘；1.25g	Zn、Ba、Cd、Cu、Pb	少许H_2O＋15ml HCl＋5ml HNO_3；蒸发至干；溶于1ml HCl (1＋1)，加10ml H_2SO_4 (1＋1) 加热至冒烟
锌原料、飘尘；3g	F、Sn	10g Na_2O_2＋10g NaOH；镍坩埚
锌原料、飘尘；1.25g～5g	全硫	50ml～100ml 用Br_2饱和的HCl；冷浸取1h
锌原料；0.5g～1g	硫化物硫	20ml H_2O＋80ml酸性混合物 (750ml HCl＋40g $SnCl_2$ $2H_2O$，加水至1000ml)
锌原料、飘尘；5g～10g	Cl	100ml HNO_3 (1＋2)；2h，冷却
锌氧粉；1g	Ca、Mg	20ml HCl＋少许HNO_3
锌，锌合金；20g	Cd、Cu、Pb	30ml HNO_3 (2＋1)
纯锌；200g	Cd	650ml HCl；慢慢加入100ml HNO_3
锌；1g	Cd、Pb	10ml HCl
粗锌；20g	Pb	150ml H_2O＋30ml H_2SO_4
锌；0.5g	Pb	20ml HNO_3 (15＋85)
锌合金；10g	Al、Mg	35ml HCl
锌，锌合金；2g	Fe、Sn	20ml HCl；用几滴H_2O_2 (30%) 氧化
铜/镍/锌合金；2g	Zn	25ml HNO_3 (1＋1)
锌/铜/铝合金；1g	Al	20ml H_2SO_4 (1＋5)
锌/铜/铝合金；2.5g	Cu	20ml HNO_3 (1＋1)
铜/锌合金；见铜		
锌白；见无机颜料		
ZrSiO4；0.1g	Zr	0.5g KHF_2；加热至熔体变为固体，然后加5ml H_2SO_4(1＋1)，蒸发除去大部分硫酸；溶于50ml HCl (1＋1)
ZrSiO4；0.5g	Zr	2.5g$NaCO_3$＋1.5g$Na_2B_4O_7$；高温炉加热
锆合金；1g	Cr、Fe、Ni	15ml H_2SO_4，小心滴加H_2O_2至反应开始
锆/锡合金；3g	Sn	50ml H_2SO_4 (1＋1)；加热至冒烟
锆/锡合金；2g～4g	Sn	50ml HCl＋(2～3) ml HF (分几次加)；锥形瓶
锆合金；1g	Mn	40ml H_2SO_4 (1＋1) －2ml HF (滴加)；铂皿
锆合金；1g	Cu、Si	15mlH_2O＋2mlHF；铂皿
锆铁合金；1g	Zr	20ml HNO_3；滴加HF；铂皿
锆铁合金；1g	Zr	5ml H_2SO_4，慢慢滴加20ml HF；加热至冒烟；铂皿
锆铁合金；0.5g	Si	4g～5g $NaKCO_3$与样品混合，覆盖1g$NaKCO_3$；慢慢加热烧结，然后加5～6gNa_2O_2并熔融；镍坩埚
硬质合金；		
1g	Co	5ml HF＋1ml HNO_3；铂皿
2.5g	Co、Mo、W	5ml～10ml HF＋HNO_3 (滴加) 加至冒烟，然后用15g$NaKCO_3$熔融残渣；铂皿
1g	Mo、W	10g Na_2O_2＋5gNa_2CO_3；铁坩埚
1g	Co、Fe、Nb Ni、Ta、Ti	40ml HNO_3＋5ml HF 用10ml H_2SO_4加热至冒烟；铂皿
2g	Cr、V	40ml HNO_3＋5ml HF＋20ml H_2SO_4 (1＋1) ＋50ml；铂皿
2g	Nb、Ta	10ml HF＋HNO_3 (滴加)；铂皿
0.5g	Zn	5g$K_2S_2O_7$；熔融后，加10滴H_2SO_4再熔融

续表

样　品；质　量	待　测　元　素	分　解　试　剂①
无机颜料		
氧化铁颜料；2g	Fe、Al	50ml HCl＋2ml HNO_3
氧化铁颜料；1g	Cu、Mn	50ml HCl（1＋1）
氧化铁颜料；1g	Fe（Ⅱ）	100ml H_2SO_4（1＋1）；CO_2 气氛
二氧化钛颜料；0.15g	Ti	15ml 酸性混合物〔500g $(NH_4)_2SO_4$＋750ml H_2SO_4〕；凯氏烧瓶
二氧化钛颜料；1g	Sb、Si	30ml 上述的酸性混合物；凯氏烧瓶
二氧化钛颜料；0.1g	Al	1.5g$K_2S_2O_7$；石英坩埚
二氧化钛颜料；1g	微量金属	10ml HF
碳酸铅；0.5g～1g	Pb	10ml HNO_3（约 4mol·L^{-1}）
四氧化三铅（红丹）；（0.5g～1g）	Pb	10ml HNO_3（约 4mol·L^{-1}）
四氧化三铅（红丹）；0.5g～1g	Pb（Ⅳ）	25ml CH_3COONa（每升 600g 三水合乙酸钠）＋20ml CH_3COOH（30%）＋30ml 0.1mol·$L^{-1}$$Na_2S_2O_3$ 滴定剩余的硫代酸盐
四氧化三铅（红丹）；10g	不溶的残渣	20mlHNO_3（约 4mol·L^{-1}）＋H_2O_2（3%，滴加）
锌白；1.25g	Zn	5ml HCl（1＋1）
锌白；10g～50g	Pb、Mn	20ml～100mlHCl
锌白；40g	Ca、Mg	50ml H_2SO_4（1＋1）＋125ml H_2O
锌白；50g～100g	Cu、Cd	（200～300）ml H_2O＋（150～250）ml HNO_3
锌白；50g	Fe	300ml H_2O＋120ml HNO_3
锌白；20g	Cl	200ml H_2O＋50ml HNO_3
氧化铬颜料；0.5g	Cr	5g～6gNa_2O_2；氧化铝坩埚
氧化铬颜料；5g	Si	20ml H_2SO_4（1＋1）＋25ml $HClO_4$（60%）；Cr（Ⅲ）氧化
氧化铬颜料；5g	Cu、Mn	40ml $HClO_4$（60%）；Cr（Ⅲ）氧化

①分解试样用的试剂，未注明浓度者均为未经稀释的市售浓溶液。

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家标准，GB 6003—85，试验筛．北京：中国标准出版社，1985.
2. 鲁道夫·博克著，谢长生等译．分析化学分解方法手册．贵阳：贵州人民出版社，1982.
3. 中国光学光谱专业委员会编．分析样品的预处理．1985.

第三篇　安全知识

第七章　分析实验室一般安全操作守则

第一节　一般安全操作

一、防止中毒

(1) 一切试剂药品瓶，要有标签。剧毒性药品必须制订保管、使用制度，专人管理，并严格遵守。此类药品应设专柜并加锁，须与一般药品分开。毒性物质撒落时，应立即全部收拾起来，并把落过毒物的桌子和地板洗净（采用冲洗 、中和、稀释、消毒等方法）。

(2) 严禁试剂入口，用移液管吸取有毒样品时应用橡皮球操作不得用嘴；如须以鼻鉴别试剂时，应将试剂瓶远离鼻子，以手轻轻煽动，稍闻其味即可，严禁以鼻子接近瓶口鉴别。

(3) 严禁食具和仪器互相代用。如曾使用毒物进行工作，则离开实验室时要仔细洗手、洗脸和漱口，脱去工作服。

(4) 对于某些有毒的气体和蒸气，如氮的氧化物、溴、氯、硫化氢、汞、磷、砷化物、氢氰酸、吡啶等，必须在抽毒罩和通风橱内进行操作处理，头部应该在通风橱外面，否则，可能引起危害健康的人身事故。凡有必要使用防毒面具的工作地点应悬挂一个防毒面具，以备分析人员急需时戴用。

(5) 取有毒试样时需站在上风；采用球胆取气分析时，要保证球胆不漏气，用完后要放在室外排空。

(6) 中毒时必须急救中毒者，如果是由于吸入煤气或其他毒性气体、蒸气，那么应立即把中毒者移到新鲜空气中；如果中毒是由于吞入毒物，那么最有效的办法是借呕吐以排除胃中的毒物，必须立即将发生的中毒事故通知医务所，救护得愈早，恢复健康也愈快。

二、防止燃烧和爆炸

(1) 挥发性有机药品应存放在通风良好的处所、冰箱或铁柜内。易燃药品如汽油、乙醚、二硫化碳、苯、酒精及其他低沸点物质、煤焦油副产物等不可放在煤气灯、电炉或其他火源的附近。因这类易燃性有机溶剂的蒸气大都比空气重，能在地面上或工作台上面流动，而在相当远处被火焰点着甚至引起爆炸。室温过高，启用易挥发物时应设法冷却。

(2) 启开易挥发的试剂瓶时，尤其在夏季，不可使瓶口对着自己或他人的脸部。因在启开时常极易有大量气液冲出，如不小心，会引起严重伤害事故。在室温高的情况下打开密封的装有易挥发试剂的瓶子时，最好先把试剂瓶在冷水里浸一段时间。

(3) 实验过程中对于易挥发及易燃性有机溶剂如有必要以加热排除时，应在水浴锅或严密的电热板上缓慢地进行，严禁用火焰或电炉直接加热。

(4) 在蒸馏可燃性物质时，首先应将水充入冷凝器内，并确信水流已固定时，再旋开开

关加热（不能用直接火加热）。接收器最好置于沙土浴中。在蒸馏过程中要时刻注视仪器和冷凝器的正常工作，甚至在短时间内也不能置之不顾。如需往蒸馏器内补充液体，应先灭火，放冷后再进行。

(5) 身上或手上沾有易燃物时，应立即清洗干净，不得靠近灯火，以防着火。落有氧化剂溶液液滴的衣服，稍微加热就能发火，应注意及时予以清除。

(6) 高温物体如灼热的坩埚、磁舟或燃烧管等，要放在不能起火的安全地方。

(7) 严禁氧化剂与可燃物一起研磨，不能在纸上称量过氧化钠。在工作中不要使用不知其成分的物质，因为反应时可能形成危险的产物（包括可燃性的、有爆炸性的或有毒性的产物）。

(8) 爆炸类药品，如苦味酸、高氯酸和高氯酸盐、过氧化氢以及高压气体等，应放在低温处保管，不得与其他易燃物放在一起，移动或起用时不得激烈振动，高压气体的出气口不准对着人。

(9) 易发生爆炸的操作，不得对着人进行。例如过氧化钠熔融时，坩埚口不得对着人；又如用高氯酸处理或回收含高氯酸的冰醋酸时，要加强安全措施，应事先避免可能发生的伤害，必要时，应戴面罩或使用防护挡板。

(10) 装有挥发性物或受热分解放出气体的药品（如五氯化磷）的瓶子最好不用石蜡封瓶塞。当瓶口因用蜡封住而打不开时，不能把瓶子放在火上烘烤。

(11) 分析中，有时需要对加热处理的溶液在隔断二氧化碳的情况下冷却，但冷却时不能把容器塞紧，以防冷却时爆炸，可以在塞子上装碱石灰管。

三、防止腐蚀、化学灼烧、烫伤、割伤

(1) 腐蚀类刺激性药品，如强酸、强碱、浓氨水、三氯化磷、氯化氧磷、浓过氧化氢、氢氟酸、冰醋酸和溴水等，取用时尽可能戴上橡皮手套和防护眼镜等。如瓶子较大，搬运时必须一手托住底部，一手拿住瓶颈。腐蚀性物品不得在烘箱内烘烤。用移液管吸取有腐蚀性、刺激性液体时，必须用橡皮球操作。

(2) 开启大瓶液体药品时，须用锯子将石膏锯开，禁止用他物敲打，以免瓶子破裂。要用手推车或担架以搬运装酸或其他腐蚀性液体的坛子，严禁把坛子背扛搬运！要用特备的虹吸管移出有危险性的液体，并戴上保护眼镜、橡皮手套和围裙。

(3) 稀释硫酸时必须在烧杯等耐热容器内进行，而且必须在玻璃棒不断搅拌下，仔细缓慢地将浓硫酸加入水中，而绝对不能将水加注到硫酸中去。在溶解氢氧化钠、氢氧化钾等发热物时，也必须在耐热容器内进行。如需将浓酸或浓碱中和，则必须先行稀释。

(4) 在压碎或研磨苛性碱和其他危险物质时，要注意防范小碎块或其他危险物质碎片溅散，以免严重烧伤眼睛、面孔或身体的其他各部位。

(5) 用浓硫酸做加热浴的操作（如测定熔点）必须小心进行，眼睛要离开一定距离，火焰不能超过石棉网的石棉芯，搅拌时要小心均匀。某些在浓硫酸介质中进行的检定反应（例如用靛兰检定硝酸根）及加入浓硫酸混匀时应该用玻璃棒搅拌，切忌以振摇代替搅拌，以免突然发热溅出伤人。

(6) 取下正在沸腾的水或溶液时，须先用烧杯夹子摇动后才能取下使用，以防使用时突然沸腾溅出伤人。

(7) 切割玻璃管（棒）及塞子钻孔，往往造成伤害。要记住使用玻璃和打孔器的安全工

作的基本规程。往玻璃管上套橡皮管时，必须正确选择它的直径，不要使用薄壁的玻璃管，且须将管端烧圆滑后才插入。最好用水或甘油浸湿橡皮管的内部，并用布裹手，以防玻璃管破碎时扎伤手部。把玻璃管插入塞内时，必须握住塞子的侧面，不要把它撑在手掌上。

(8) 装配或拆卸仪器时，要防备玻璃管和其他部分的损坏，以避免受到严重的伤害。特别是在拆卸仪器时这种危险更大，因为在这种情况下，仪器的各个玻璃组成部分常带有毛刺或脏物，工作中应经常采取防止损坏的措施，如用金属的（或厚玻璃的）保护管连接在要加固的玻璃零件上，或者在连接的零件之间放置有弹性的衬垫等。

四、其他方面

(1) 分析室应置备足够数量的安全用具，如沙箱、灭火器、救火毯子、冲洗龙头、洗眼器、护目镜、屏障、防护衣和防毒面具，每个工作人员都应知道其放置位置和安全使用方法。每个工作人员还应该知道实验室内煤气阀、水阀和电闸的位置，以便必要时可随时关闭。

(2) 工作人员必须熟悉和遵守化学危险品安全使用规程、以及煤气、电器设备安全守则。

(3) 分析室内禁止吸烟、进食，也不能用烧杯等仪器当茶杯使用。禁止赤膊、穿拖鞋进入分析实验室。

(4) 一切固体不溶物、浓酸和浓碱废液，严禁倒入水槽，以防堵塞和侵蚀水道。残余毒物更应采取妥善处理，切勿任意丢弃或倒在水槽中。含氰化钾（钠）的废液，应先将 CN^- 转化成 $Fe(CN)_6^{4-}$ 后再倒入水槽（每 200ml 废液中加 25ml 10%碳酸钠及 25ml30%$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 溶液，搅匀）。

(5) 分析室工作结束后，应当进行安全检查，离开时要关闭一切电源、热源、水源和门窗。

第二节 使用煤气设备的安全守则

(1) 煤气灯及煤气管道要经常检查，如果在实验室内已闻到煤气的气味，要立即停止使用。在没有完全排除房间内的煤气前，不要点火，也不要接通电流，要及时修理，修好后再用。煤气有双重危险性，因为它不仅有毒，并且能与空气形成爆炸性混合物。漏出煤气的房间，待换过新鲜空气后，用肥皂水涂于可疑处或接头处，试验和检查煤气设备中漏气之处，严禁用火试验。

(2) 点煤气灯时，必须先闭风，次点火，再开煤气，最后调节风量。停用时要先闭风，后闭煤气。如不依次序，就有发生爆炸和火灾的危险。

(3) 由于煤气开关或导管零件装配不紧，造成煤气侵入空气中而着火时，立即关闭通向漏气地点途中的开关或气阀。立刻用湿抹布或石棉纸覆盖物等扑灭火焰，在未修好之前，不准使用这段煤气线路。

(4) 使用煤气灯时要注意防止内燃，下班前更要详细检查是否完全熄灭，以免发生意外。

(5) 因发生故障临时停止煤气供应时，要立即关闭一切仪器上的煤气开关、分开关和总开关。因此时往往容易忘记关闭开关，以致恢复煤气供应时，使实验室内充满煤气。

(6) 无人在室内，禁止使用煤气灯。

(7) 在点燃的煤气灯的近旁，不得放置易燃物品（如抹布、毛巾、易燃易爆的药品、试剂等）。

第三节　使用电器设备的安全守则

（1）一切电器设备在使用前，应检查是否漏电，外壳是否带电，接地线是否脱落。

（2）在使用电气动力时，必须事先检查电开关、马达和机械设备的各部分是否安置妥善。

（3）开始工作或停止工作时，必须将开关彻底扣严或拉下。

（4）安置电器设备的房间、场所、必须保持干燥，不得有漏水或地面潮湿现象。注意电线的干燥度，遵守使用电器的规程，离开房间时，要切断电加温仪器的电流。

（5）在更换保险丝时，要按负荷量选用合格保险丝，不得加大或以铜丝代替使用。

（6）在实验室内不要有裸露的电线头，不要用它接通电灯、仪器或电动机。要记住实验室内发出火花的危险性，因空气中可能有构成爆炸混合物的可燃性气体或蒸气。

（7）电器开关箱内，不准放任何物品，以免导电燃烧。

（8）严禁用铁柄毛刷清扫电门和用湿布擦电门。严禁用潮湿的手接触电器。擦拭电器设备前，应将全部电源断开。

（9）凡电器动力设备如电风扇、马达等发生过热现象，应立即停止运转，并请求维修。

（10）实验时必须先接好线路再插上电源，实验结束时，必须先切断电源，再拆线路。

（11）停止电流供应时，要关闭一切加温和其他电气仪器，只连接着一盏检查灯，电灯明亮时指示电流已恢复供应，然后遵守为开始接通仪器时所规定的一切预防方法重新进行工作。如果中断电流供应，忘记关闭一切开关，当恢复电流供应时，在仪器内（特别是精密仪器，铂制加温器等）立刻通入能使仪器损坏的电流。同时，在同一电源线上接通过多仪器时，也将造成电线负荷过重，有时甚至可能引起电线着火或击穿绝缘。

（12）定碳、定流电炉的两端和高温硅碳棒箱式炉的硅碳棒端均应设安全罩，严禁将安置妥善的安全罩随意撤掉，以免发生触电事故。

（13）禁止在电气设备或线路上洒水，以免漏电。

（14）凡使用 110V 以上电源装置，仪器的金属部分必须安装地线，要使用有绝缘手柄的工具。

（15）用高压电流工作时，要穿上胶鞋并戴上橡皮手套，站在橡皮的小地毯上，不要信赖自己的小心谨慎。

（16）实验室所有电气设备不得私自拆动及随便进行修理。

（17）受到电流伤害时，要立即用不导电的物体把触电者从电线上挪开，同时采取措施切断电流。把触电者转移到有新鲜空气的地方进行人工呼吸并迅速通知医务所。

第四节　防火与灭火

（1）平时要注意偶然着火的可能性，准备适用于各种情况的灭火材料包括消火砂、石棉布、毯子、各类灭火器。消火砂要经常保持干净，且不可有水浸入。

（2）加热试样或实验过程中起火时，应先立即用湿抹布或石棉布熄灭灯火并拔去电炉插头，关闭煤气阀、总电门。特别是易燃液体和固体（有机物）着火时，不能用水去浇，因为除甲醇、乙醇等少数化合物外，大多数有机物比重小于水，例如燃着的油能浮在水面上继续燃烧并且逐渐扩大燃烧面积。因此除了小范围可用湿抹布覆盖外，要立即用消火砂、泡沫灭火器或干粉灭火器来扑灭。精密仪器则应用四氯化碳灭火。

（3）电线着火时须关闭总电门，立即切断电流，再用四氯化碳灭火器熄灭已燃烧的电线

并及时通知值班电气装配工人，不许用水或泡沫灭火器熄灭燃烧的电线。

(4) 衣服着火时应立即以毯子之类蒙盖在着火者身上以熄灭燃烧着的衣服，不应慌张跑动，否则加强气流流向燃烧着的衣服，使火焰加大。

(5) 常用灭火器及适用范围见表7-1。

表7-1　常用灭火器及适用范围

类　型	药　液　成　分	适　用　范　围
酸碱式	H_2SO_4、$NaHCO_3$	适用于非油类及切断了电路的电器失火等一般火灾，而不适用于忌酸性的化学药品（如氰化钠等）和忌水的化工产品（如钾、钠、镁、电石等）失火
泡沫式	$Al_2(SO_4)_3$、$NaHCO_3$	适用于扑灭油类及苯、香焦水、松香水、凡立水等易燃液体失火，而不适用于在丙酮、甲醇、乙醇等易溶于水的液体失火
高倍数泡沫	脂肪醇、硫酸钠加稳定剂、抗烧剂	适用于火源集中，泡沫容易堆积等场合的火灾，大型油池、室内仓库、油类、木材纤维等
二氧化碳	液体 CO_2	适用于电器失火（包括精密仪器、电子设备失火）
干粉灭火①	主要由 $NaHCO_3$、硬脂酸铝、云母粉、滑石粉、石英粉等混合配成	适用于扑救油类、可燃气体、电器设备、精密仪器、文件记录和遇水燃烧等物品的初起火灾
四氯化碳②	液体 CCl_4	适用于电器失火。忌用于钾、钠、镁、铝等失火，否则易发生分解爆炸；严禁用于扑救电石、乙炔气、二硫化碳等失火，否则会产生剧毒的光气
1211	CF_2ClBr	灭火效果好，主要应用于油类有机溶剂、高压电气设备、精密仪器等失火

① 在干粉灭火器上装有二氧化碳作为喷射动力。干粉灭火器喷出的灭火粉末，盖在固体的燃烧物上，能够构成阻碍燃烧的隔离层，且能通过受热而分解出不燃性气体，就可以稀释燃烧区域中的含氧量。同时干粉中还有中断燃烧连锁反应的作用，因此灭火速度快。干粉灭火器综合了泡沫式、二氧化碳和四氯化碳灭火器的优点。

② 此类灭火器已很少使用。

实验室备用的灭火器须按时检查并调换药液。临使用前须检查喷嘴是否畅通，如果有阻塞、应用铁丝疏通后再使用，以免造成爆炸事故。

如燃烧已延及室内电器电线部分，则按第四节之（3）办理，以免灭火器喷出的药液因导电而造成灭火人员的触电事故。

第五节　现场采样安全注意事项

(1) 进入车间需戴安全帽。

(2) 经过酸、碱、氨等管线下面，如发现滴漏时，不得抬头仰望。不得在运动的设备上通行。禁止以电线作扶手。切忌靠近高压电线。

(3) 登高取样时应注意安全，必要时戴安全带。

(4) 所采样品为危险品时，采样者要完全了解样品的危险性及预防措施，并受过使用安全装备的训练，包括灭火器、防护眼镜和防护服等。采取安全防范措施。如对有毒物质样品取样时，根据样品毒性的具体情况，使用防毒面具、呼吸罩以保护呼吸器官；戴橡皮手套或涂上保护软膏来保护皮肤；戴防护眼镜防止眼睛受伤害。采样前及采样后应向有关主管人汇报，出现异常情况，包括采样者感到不适时都应立即向主管人报告。

所采样品为危险品时，采样者应有第二人陪伴。

(5)对在通过旋塞取流体样品时，为了避免打开旋塞流体大量流出，采样设备应具有随时限制流出总量和流速的装置。

对液体采样时，为了预防溅出，应当准备接受槽和漏斗以便安全地收集溅出物，并为采样者设置常备防护板。

对液体和气体的采样，在任何时候都应该能用阀门来切断采样点与物料或管线的联系。该阀门应安装在采样点附近，但不要太靠近，以便万一发生意外时可以安全地控制流体。

对高压设备中取气体试样时，需先将气样通过减压设备，然后采样。

(6) 在任何情况下，采样者都必须确保所有被打开了的部件和采样口均按照要求重新关闭上。

第六节 化学危险品安全知识

一、化学危险品安全知识一览表

关于表 7-2 化学危险品安全知识一览表的说明：

1. 表 7-2 列举 700 余种常见的无机化学物质和有机化学物质。这些物质或对人和生物有毒害，或易燃易爆，或化学性质特别活泼，具有一定的化学危险性。对于这些化学物质，使用者应对它们的安全知识有所了解，以便在接触或使用过程中，采取相应的措施，谨防发生危险。

2. 本表的编排分无机化合物和有机化合物两部分。无机化合物部分按化学式的元素字母顺序排列，一些无明确化学式的物质（如烟雾和粉尘等），按其主要元素或成分编排；有机化合物部分按化学式中碳氢原子数递增顺序编排。某些无氢原子的碳化物，如 CCl_4 和 CCl_2O 等排在碳原子数相同的有机化合物的后面；又如 CO，CN 等则编排在无机化合物相应的位置。

3. 表中各栏目内容的简要说明

第一栏，顺序号。

第二栏，化学名称和化学式。化学名称以《英汉化学化工词典》为依据。

第三栏，环境中最高允许浓度。本栏列举化学物质在环境空气和地面水中规定的最高容许浓度。空气中最高容许浓度的单位为“$mg \cdot m^{-3}$”。表中列出两种数值：无括号的数值是我国《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79) 中规定的车间空气中有害物质的最高容许浓度；括号中的数值是美国对作业场所空气中有害物质规定的最高容许浓度的时间加权平均容许浓度值(TLV－TWA)，人员在该容许浓度情况下，每日工作 8h，对身体不会产生危害。表中加注“皮”表示该物质可以通过皮肤（或粘膜、眼睛）侵入人体产生影响。地面水中最高容许浓度的单位是“$mg \cdot L^{-1}$”。表中列出两种数值：无括号的数值是我国《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79) 中规定的地面水中有害物质的最高容许浓度；括号中的数值来源于前苏联《饮用水和生活用水中有害物质的最高容许浓度》。由于环境标准种类繁多，同一物质在不同标准中的允许浓度也不相同，在此难以一一列出。为了便于查找，兹将我国已经颁布的有关环境标准目录列于表 7-3 以供参考。

第四栏，浓的短期暴露对健康的相对危害。本栏概述化学危险品暴露对人体粘膜接触、皮肤渗透、吸入以及吞服后产生危害及影响。

中毒——可使人体某些器官及其功能受到损害，长期接触会产生慢性中毒；

刺激——对人体皮肤或粘膜有强刺激作用；

厌恶——使人感到厌恶不适；

烟（雾）热——由烟雾、烟尘引起人体发热，脱离接触后会消退；

麻醉——使人体神经中枢受抑制产生睡眠或昏迷；

致癌——可能引发肿瘤或癌症。（关于化学物质的致癌性在本节《三、化学致癌物质》中另有说明。）

第五栏，化学危险性等级。化学物质的化学危险性从危害健康、可燃性和化学稳定性 3 个方面予以表述，并用 4、3、2、1、0 五个等级来表示其危险性程度的差别。

(1) 危害健康

4——短期暴露即会引起死亡，或者经医治后仍有严重后遗症；

3——短期暴露会引起严重危害，经过医治后还会有暂时的或残留的损伤；

2——引起暂时中毒，不能工作或可能产生残留损伤；

1——暴露后会引起刺激或不适；

0——在燃烧条件下也无危害。

(2) 可燃性

4——在常温常压下会迅速地完全地气化、扩散和易燃烧的物质；

3——在常温下即能被点燃的液体和固体；

2——在高温下才能被点燃的物质；

1——须经预热后才能被点燃的物质；

0——不燃烧物质。

(3) 化学稳定性

4——常温下容易爆炸或者有爆炸性反应的物质；

3——能爆炸或有爆炸性反应，但要有引发源，或预先加热，或与水有爆炸性反应的物质；

2——不稳定的和具有激烈化学反应，但不爆炸的物质，或与水发生激烈反应，与水能形成潜在爆炸性的物质；

1——通常是稳定的，但温度和压力提高时变得不稳定，或者与水反应，但无猛烈能量放出的物质；

0——即使遇火源也是稳定的，也不与水起反应的物质。

本栏中注有符号“W”表示遇水有剧烈化学反应。

第六栏，灭火剂。指明某种化学危险品发生火险时应该使用的灭火剂：1——水；2——泡沫灭火剂；3——二氧化碳或干性化学灭火剂；4——气体火险中使用的灭火剂；5——金属火险中使用的灭火剂。

第七栏，在空气中燃烧的极限值。当某种气体或蒸气与空气（或氧）形成可燃烧混合物（爆炸混合物）时，在与火源接触火焰但不会发生传播的情况下，该气体或蒸气在空气（或氧）中浓度的下限值和上限值，以气体或蒸气在空气中的体积分数，%表示。由于燃烧极限视氧的含量不同而有很大差别，又受到温度和压力的影响（增加温度和压力一般是使下限值降低和使上限值升高），故这一栏数据可能有些出入。表中除了特别注明的均系指在标准状况下大气中的数据。

第八栏，闪点。指出液体（包括某些固体）产生的蒸气足以与液体表面附近的空气或在容器内形成燃烧混合物时的温度。注有“OC”的表示开口杯测定的温度，该温度略高于闭口杯测定的数值。

第九栏，着火点。物质（固体、液体和气体）受热后着火或者引起自燃所必需的最低温度。

第十栏，沸点。101.325kPa 压力下液体沸腾的温度。括号内的数值是该物质的熔点。“d”表示该物质分解。

第十一栏，蒸气压，单位为 133.32Pa。右上角注是该蒸气压的温度（℃）。

第十二栏，密度或相对密度。表中密度单位除在数值后注明者外，均为“$g \cdot ml^{-1}$”。相对密度无量纲。数值的右上角注是测定密度时的温度，右下角注是参考物质——水的温度（℃）。

第十三栏，物质在水中的溶解度。“∞”表示无限；“v”表示 100ml 水中溶解大于 50g；“s”表示 100ml 水中溶解（5～50）g；“δ”表示 100ml 水中溶解少于 5g；“i”表示难溶于水；“d”表示该物质与水接触分解；“s^h/d”表示该物质溶于热水同时发生分解。

表 7-2　化学危险品安全知识一览表

(一)无机化合物

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
1	银 Ag	(0.01)	(0.05)													
2	铝 Al				0	1	1	5			粉末有爆炸危险		(659.7)		2.702	i
3	氯化铝 $AlCl_3$			刺激眼、鼻、喉									182.7		2.44	s^{h}/d
4	氩 Ar			窒息									−185.7	47^{-143}	1.784 g·L^{-1}	δ
5	砷 As	(0.5)	0.04	中毒									615 升华		5.727	i
6	砷化物	(0.5)		中毒												
7	砷化氢 AsH_3	0.3(0.2)		中毒									−55 d300		2.695 g·L^{-1}	δ
8	三氧化二砷 As_2O_3	0.3(0.5)	(0.05)	中毒									(315)		3.738	δ
9	硼 B		(0.3)						粉末与空气接触要燃烧				(230)		2.45	i
10	三氯化硼 BCl_3			腐蚀性液体，刺激呼吸道									12.5	477	1.35$^{11}_{4}$	
11	三氟化硼 BF_3	(3)		中毒									−99.9	27.9^{30}	2.99 g·L^{-1}	s
12	硼乙烷 B_2H_6	(0.1)		中毒	3	4W	3	4	0.9	98	−90	145	−92.5	760^{-93}	0.445 液体	分解成 H_3BO_3+水
13	戊硼烷 B_5H_9	(0.01)		中毒					0.42		≈30 纯	≈35 纯	58.4 (−46.8)	60^{0}	0.66	d
14	癸硼烷 $B_{10}H_{14}$	(0.3)皮		中毒	3	2	1				−80	149	213 (99.7)	66^{132}	0.94^{20}	δ
15	硼酐 B_2O_3	(15)											1860		2.46	δ
16	钡的可溶性化合物	(0.5)	(4)	吞服，眼睛接触，吸入，皮肤渗透，剧毒												
17	氯化钡 $BaCl_2$		(4)	吞服，眼睛接触，吸入，皮肤渗透，剧毒									1560		2.856	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		健康危害	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
18	氢氧化钡 $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	(0.5)		刺激眼、鼻、喉									(78)		2.18	δ
19	铍 Be	0.001 (0.002)	0.0002	吸入慢性中毒	4	1	1		粉末爆炸				(1228)		1.85^{20}	i
20	溴 Br_2	(0.7)	(0.2)	强腐蚀性	4	0	1						58.78	77.3^{4}	2.928^{58}	δ
21	五氟化溴 BrF_5			刺激性，腐蚀性									40.3	136^{1}	2.482	
22	三氟化溴 BrF_3	(3)		强腐蚀性，剧毒									127	18^{39}	2.843	
23	碳黑 C	(3.5)														
24	氰 CN	(5)皮	0.05	中毒												
25	溴化氰 CNBr	(0.5)		很毒									61.1	920^{20}	2.015_{4}^{20}	s
26	氯化氰 CNCl	(0.5)		体积分数浓度 φ= 1.6×10^{-4} 10min 即可使人致死									13.1	2.1	1.2	
27	一氧化碳 CO	30(55)		化学窒息，中毒	2	4	0	4	12.5	74		651	−191.5	760^{-191}	1.250 g·L^{-1}	δ
28	二氧化碳 CO_2	(9000)		高浓度会引起麻痹									−78.5 升华		1.977 g·L^{-1}	δ
29	氧硫化碳 COS				3	4	1	4	12	29			−50.2		1.073 g·L^{-1}	δ
30	二硫化碳 CS_2	10(60)皮	2,(10)	慢性中毒	2	3	0	1,3	1.3	44	−30	100	46.3	360^{25}	1.261	i
31	钙 Ca				1	1W	2	5	细粉在室温即可燃烧				1240		1.54	与水反应生成 H_2 和 $Ca(OH)_2$
32	砷酸钙 $Ca_3(AsO_4)_2$	(1)		中毒									(1455)		3.620	δ
33	碳化钙 CaC_2				1	4W	2		吸水放出乙炔				2300		2.22	d
34	次氯酸钙 $Ca(ClO)_2$			刺激	2	1	2		与酸和氧化剂接触危险				d100		2.35	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg\cdot m^{-3}$	地面水 $mg\cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	$\theta/℃$	$\theta/℃$	$\theta/℃$	133.32Pa		
35	氧化钙 CaO	(5)		刺激眼、鼻、咽喉	1	0	1		与水作用发热可以着火				(561)		3.25～3.28	v
36	氢氧化钙 $Ca(OH)_2$			刺激眼、鼻、咽喉									d580		2.504	v
37	镉 Cd		0.01	有毒					镉粉燃烧形成很危险的烟雾				767±2 (321)		8.642	i
38	氯化镉 $CdCl_2$		0.01	剧毒												
39	镉的可溶性盐类及金属烟尘	(0.05)		中毒												
40	氧化镉烟尘 CdO	0.1		中毒									升华 1559		8.15	i
41	铈 Ce							5	自燃		150～180		2417 (894)		6.768	d
42	氯 Cl_2	1(3)		强糜烂性，刺激呼吸道	3	0	1		与可燃物有爆炸性反应				−34.6	3.66^{0}		δ
43	三氟化氯 ClF_3	(0.4)		剧毒					极强氧化剂，可使有机物着火，在一定温度下可使金属着火，与水和冰反应激烈							
44	一氯化碘 ClI			正常贮存会有变质并有危险											3.18	d
45	二氧化氯 ClO_2	(0.3)		刺激							快速加热到100℃可能爆炸		11 (−69)	490°	3.09 $g\cdot L^{-1}$	δ
46	氟化氯三氧 ClO_3F	(13.5)		谨防吸入、吞服及皮肤接触								强氧化剂			液体 1.434	
47	钴 Co	(0.1)	1.0	中毒									3550		8.9	i
48	硝酸钴 $Co(NO_3)_2\cdot 6H_2O$			在74℃分解出氮的氧化物有毒	1	0	1		氧化性物质						1.87	v
49	铬 Cr	(1)		中毒									2480		7.20^{20}	i
50	铬的可溶性盐类	(0.5)	0.05(Ⅵ)	中毒												
51	非水溶性的铬化合物	(1)	0.5(Ⅲ)	中毒											4.11	δ
52	二氟化铬 CrF_2			强烈刺激												

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m^{-3}	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L^{-1}	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
53	三氧化铬 CrO_3	0.05(0.1)	(0.1)	刺激,中毒												
54	可溶性亚铬盐	(0.5)	(0.5)	中毒												
55	铯 Cs							5	与水有爆炸性反应				690 (28.5)		1.8785^{15}	d
56	铜的烟雾	(0.1)	0.1	刺激												
57	铜的微尘	(1.0)		刺激												
58	碳酸铜 $CuCO_3$			刺激,腐蚀									(d200)		4.0	i
59	镝 Dy								粉末自燃				2600 (1407)		8.536	i
60	氟离子 F^-	(2.5)	1.0(1.5)	中毒												
61	氟 F_2	(0.2)		剧毒	4	0W	3	4					−183	1	1.69^{15} g·L^{-1}	$HF+O_2$
62	铁氧化物烟尘	(10)		中毒												
63	钒酸铁粉末	(1)		中毒												
64	钆 Gd								粉末自燃				3000 (1312)		7.9	i
65	锗烷 GeH_4			剧毒,强刺激性,腐蚀性					可燃		气		−90		3.43 g·L^{-1}	
66	氢 H_2			有窒息作用	0	4		4	有爆炸性 4.0	75		585	−252.8		0.0899 g·L^{-1}	δ
67	偏砷酸 $HAsO_3$	(0.5)		中毒									d			d
68	溴化氢 HBr	(10)		有毒,强刺激性,腐蚀性									−67.0		3.5 g·L^{-1}	v
69	氯化氢 HCl(气)	15(7)		毒性大,浓度为0.13%~0.2%时,几分钟有生命危险												
70	硫代氯酸 $HClO_3S$				3	0W	2						158		1.766^{13}	分解成 H_2SO_4 与 H_2O

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
71	高氯酸 $HClO_4$ (70%～72%)				3	0	3		极强氧化剂，干燥剂，具有爆炸性				200		1.68	∞
72	氢氰酸 HCN(96%)			吞服，吸入，经伤口渗入，剧毒	4	4	2	1	6	41	−18(0)	538	26	807		∞
73	氰化氢 HCN	0.3(1)支		吸入或渗入皮肤，剧毒	4	4	2	3	6	41	气	538	26		0.6884$^{20}_{4}$	∞
74	氢氟酸 HF(水)			避免任何接触、吸入												∞
75	氟化氢 HF	1(2)支		腐蚀性极强、中毒	4	0	0						19.45		0.991	∞
76	碘化氢 HI			有毒，对皮肤、眼粘膜强刺激，强腐蚀									−35.5			v
77	氢碘酸 HIO_3			对皮肤、眼、粘膜刺激									d110		4.629	v
78	硝酸 HNO_3	(5)	10(以N计)	对皮肤、眼、粘膜刺激	2	0	1						83		1.5027$^{52}_{4}$	∞
79	过氧化氢 H_2O_2 (90%)	(1.4)		强腐蚀性	2	0	3		不燃烧，与还原剂可能爆炸				140	5^{20}	1.392$^{0}_{4}$	∞
80	过氧化氢 H_2O_2 (50%)			强腐蚀性					不燃烧				107.8			
81	过氧化氢 H_2O_2 (35%)			强腐蚀性					不燃烧				113.9			
82	氢基氰 H_2NCN			刺激性腐蚀性				1,3			141				1.0729$^{18}_{4}$	v
83	硫化氢 H_2S	10(15)		中毒	3	4	0	4	4.3	45	气	260	−60.7	5.6	1.539 g·L^{-1}	v
84	硒化氢 H_2Se	(0.2)		剧毒					可燃		气		−42		2.004 g·L^{-1}	δ
85	硫酸 H_2SO_4	2(1)	(500)	刺激眼、鼻、喉	3	0W	1						338	1^{146}	6.602 g·L^{-1} 1.891	∞
86	发烟硫酸 $H_2SO_4+SO_3$	(1)		强腐蚀性，刺激	3	0W	1									∞
87	磷酸 H_3PO_4	(1)		刺激									213	0.0285^{20}	1.834^{18}	v

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级*			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa	相对密度	
88	氦 He			窒息作用									−269		0.1249	i
89	铪 Hf	(0.5)						5			粉末危险	20 粉末	>3200 (2200)		13.31	i
90	汞 Hg	0.01 (0.1)皮	0.001 (0.005)	蒸气有毒，盐类通常使细胞中毒									356.58	0.002^{26}	13.594_{4}^{20}	i
91	氯化汞 $HgCl_2$	0.1		慢性中毒									302			s
92	有机汞化合物	0.005 (0.01)皮		中毒												
93	碘 I_2	(1)												309^{25}	4.93	δ
94	五氟化碘 IF_5			剧毒，强腐蚀									98		3.75	
95	铟 In			有毒									2000		7.3	
96	钾 K				3	1	2	5	与水反应生成 H_2，放出热量会着火爆炸				774 (63.65)	8^{432}	0.86	生成 KOH
97	氯酸钾 $KClO_3$				1	0	2		能与易氧化物质形成爆炸物				400		2.32	δ
98	氟化钾 KF			对皮肤、眼睛、粘膜有刺激									1505		2.48	v
99	氢氧化钾 KOH			对皮肤、粘膜强腐蚀	3	0	1						1320～1340	1^{719}	2.044	v
100	过氧化钾 K_2O_2			有毒	3	0W	2				与水激烈反应形成爆炸混合物					
101	过硫化钾 K_2S_2			与水或酸反应生成 H_2S	2	1	0		粉末在空气中会燃烧				(470)			s
102	过硫酸钾 $K_2S_2O_8$				1	0	1						d<100		2.477	δ
103	氪 Kr			有窒息作用									−152.9			
104	镧 La								粉末自燃				3470 (920)		6.162	d
105	锂 Li				1	1W	2	5					1317		0.543	d

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg \cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg \cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 上限	闪点 $\theta/℃$	着火点 $\theta/℃$	沸点（熔点） $\theta/℃$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
106	四氢化铝锂 $LiAlH_4$			强腐蚀性	3	1W	2				潮湿会引起燃烧		d>125		0.917	d
107	六氢化铝锂 $LiAlH_6$								在空气中分解不燃烧				d>210		1.26	i
108	碳酸锂 Li_2CO_3			刺激眼、鼻、喉									d1310		2.11	δ
109	氢化锂 LiH	(0.025)		刺激、中毒	1	4W	2	5	自燃			在空气中能自燃	680		0.82	d
110	镥 Lu								粉末自燃				3327 (1652)		9.872	
111	镁 Mg							5			粉末有爆炸危险		110.7		1.74	i、d
112	高氯酸镁 $MgCl_2O_8$				1	0	1	1	可与易氧化物质形成爆炸混合物							
113	氧化镁烟雾 MgO	(15)		金属（烟雾）热												
114	锰 Mn	(5)	$(10MnO_2)$	中毒									2152		7.20	d
115	硫酸亚锰 $MnSO_4$			慢性中毒									d850		3.25	v
116	可溶性钼化合物	4(5)	0.5	中毒												
117	不溶性钼化合物	6(15)		中毒												
118	氮 N_2			窒息作用									−195.8	30^{-149}	气 1.2506 $g \cdot L^{-1}$	δ
119	氟化氮 NF_3	(29)		中毒									−128.8		液 1.537^{-129}	δ
120	氨 NH_3	30(35)			3	1	0	4	16	25	气	651	−33.5		0.7716 $g \cdot L^{-1}$	v
121	重铬酸铵 $(NH_4)_2Cr_2O_7$	(0.1)		刺激使皮肤溃烂，吞服吸入有危险				1	可燃固体与有机物有爆炸性反应				d180	225℃自燃		δ
122	氟化铵 NH_4F			有毒									升华		1.315	v
123	硝酸铵 NH_4NO_3				2	1	3	1	有爆炸危险						1.725	v

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m⁻³	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L⁻¹	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
124	氨水 NH_3(水)(28%)		(2.0)	强刺激									(−77)		2.15	s
125	硫氰酸铵 NH_4SCN		(0.1)	有毒									d160			
126	氨基磺酸铵 $N_2H_6SO_3$	(15)		中毒												
127	一氧化氮 NO			慢性中毒									−152		气 1.3402 g·L⁻¹	s
128	二氧化氮 NO_2	5(9)		慢性中毒									21.2		1.4494	s
129	三氧化二氮 N_2O_3			剧毒									3.5			
130	四氧化二氮 N_2O_4			慢性中毒	3	0	1						158			
131	亚硝酰氯 NOCl			吸入,接触危险									−5.8		气 3.0 g·L⁻¹	d
132	钠 Na				3	1W	2	5	与水接触极危险			在空气中自燃	830	1^{432}	0.97^{20}	形成 NaOH +H_2
133	氰化钠 NaCN		(0.01)	剧毒,与水接触放出 HCN	2	0	0						1496			s
134	次氯酸钠 NaClO				1	1	2	1					d180—200			s
135	氯酸钠 $NaClO_3$		(20)		1	0	2		形成爆炸性混合物						2.490^{15}	v
136	高氯酸钠 $NaClO_4$			刺激									d320		2.168°	v
137	氟化钠 NaF	1(以F计)	(1.5)	中毒											2.558^{4}	v
138	氢化钠 NaH			内吸刺激眼、鼻、喉,能形成 NaOH	与水接触可能着火或爆炸								(800) d850		0.92	i
139	叠氮化钠 NaN_3			剧毒,能形成有毒的叠氮酸					可以形成爆炸性的叠氮酸的气体						1.846	
140	氨基钠 $NaNH_2$			灼烧皮肤和眼					与水反应非常激烈				400			d 形成 NaOH

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg\cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg\cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 上限	闪点 $\theta/℃$	着火点 $\theta/℃$	沸点(熔点) $\theta/℃$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
141	钾钠合金 NaK				3	3W	2		与水和空气接触非常危险		在空气中自燃					
142	氢氧化钠 NaOH	0.05(2)		刺激眼、鼻、喉	3	0	1						1390		2.130	s
143	过氧化钠 Na_2O_2			着火很危险，谨防吸入	3	0W	2		强氧化剂与水反应剧烈				d460		2.805	s
144	硅酸钠 $NaO\cdot xSiO_2$ $(x=3\sim5)$		(50)	强碱性，入眼危险												s
145	硫化钠 Na_2S			与水或酸反应放出 H_2S	2	1	0						(1180)		1.856_4^{14}	s
146	铌 Nb								粉末自燃							
147	氖 Ne			窒息作用									−246		气 0.835 $g\cdot L^{-1}$	i
148	镍(固体物)Ni		0.5	能引起皮肤病												
149	羰基镍 $Ni(CO)_4$	0.001 (0.007)		暴露有致命和致癌危险					在空气中(60℃)激烈分解				43	261^{15}	1.32^{17}	δ
150	臭氧 O_3	0.3		强刺激，$1.7\cdot10^{-3}$体积分数几分钟即可致命					强氧化剂可能爆炸				−111.9		2.144 $g\cdot L^{-1}$	s
151	二氟化氧 OF_2	(0.1)		中毒									−144.8		1.90	δ·d
152	四氧化锇 OsO_4	(0.002)		刺激，剧毒，对眼睛危险									130		4906	s
153	红磷 P_4			慢性中毒	1	1	1					<200	280		2.34	δ
154	黄磷 P_4	0.03(0.1)		中毒	3	3	1	1	在空气中自燃			30	280.5		1.82^{20}	δ
155	三氯化磷 PCl_3			刺激	3	0W	2						75.5^{749}		1.574	d
156	五氯化磷 PCl_5			刺激									162 升华		4.658 $g\cdot L^{-1}$	d
157	三溴化磷 PBr_3			有毒，腐蚀性									172.9		2.852^0	d
158	五氟化磷 PF_5			刺激呼吸道									−84.6			

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	$\theta/°C$	$\theta/°C$	$\theta/°C$	133.32Pa		
159	磷化氢 PH_3	(0.4)		剧毒					>1		气	40～60 即燃	−84.7		液体 0.796	δ
160	五氧化二磷 P_2O_5	1		腐蚀性强刺激									300 升华		2.39	形成 H_3PO_4
161	五硫化二磷 P_2S_5	(1)		与水反应生成 H_2S	3	1W	2	3	粉末可燃			282	514		2.03	i
162	镤 Pa			放射性，可能致癌											15.73	
163	铅 Pb	0.05 尘 (0.2)	0.1,(0.1)	慢性中毒									1515		11.269	i
164	砷酸铅 $Pb_3(AsO_4)_2$	(0.15)		慢性中毒									(1042)		7.80	δδ
165	钷 Pm			β 放射性												
166	钋 Po			很毒，α 放射性，内吸可能致癌									962±2		9.4	δ
167	镨 Pr								粉末自燃				3127 (935)		6.64—6.782	d
168	钚 Pu			通过吸入而吸收；电离辐射源												
169	镭 Ra			可能引起肿瘤，贫血，肺癌									1140 (700)		6.0	s
170	铷 Rb								在空气中自燃与水反应剧烈				700 (38.5)		1.532 液 1.475	d
171	硫 S_8			燃烧生成刺激性的 SO_2	2	1	0	1,3			207	232	444.6		2.07^{20}	i
172	二氯化硫 SCl_2			刺激性，暴露极限建议 $\varphi=10^{-6}$					若慢慢加热在 40°C 以上可以分解				59 (−78)		7.6^{-23}	
173	一氯化硫 S_2Cl	(6)		刺激	2	1	0	3			118	234	135 (−76)	6.813^{25}	1.678	d
174	四氟化硫 SF_4			剧毒									−40		液体 1.9191	
175	二氧化硫 SO_2	15(13)		刺激、中毒	3	0	0						−10		气 2.3 液 1.5	s
176	三氧化硫 SO_3			刺激、中毒									44.8 (16.83)			d

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m⁻³	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L⁻¹	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/C	着火点 θ/C	沸点（熔点）θ/C	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
177	亚硫酰氯 $SOCl_2$			140℃以上分解成 Cl_2、SO_2、S_2、Cl_2；与水作用，分解成 SO_2、HCl，刺激性，暴露极限建议体积分数 $\varphi=10^{-6}$									75.5 (105)	110^{10}	1.655_{4}^{20}	
178	硫酰氟 SO_2F_2	(20)		中毒									−55.4		气 3.72 g·L⁻¹	s
179	亚硫酰氟 SOF_2			对眼睛强刺激												
180	锑 Sb	(0.5)	0.05	中毒									(630.5)		6.684	i
181	三氯化锑 $SbCl_3$	(0.5)	(0.05)	刺激，吸湿放出 HCl									223		3.140	v
182	五氯化锑 $SbCl_5$	(0.5)		中毒									(2.8)		液体 2.336	d
183	三氧化二锑 Sb_2O_3	(0.5)		中毒									(656)		5.2	δ
184	锑化氢 SbH_3	(0.5)		很毒	1	1	0	1.3			196	395	358—383		0.948	i
185	硒 Se		0.01	有毒									685 (217.4)		4.81_{4}^{20}	i
186	硒化合物	0.1(0.2)	(0.001)	中毒												
187	六氟化硒 SeF_6	(0.4)		中毒									−34.5		3.25 g·L⁻¹	δ.d.
188	硅烷 SiH_4								在空气中自燃				−112			
189	二氧化硅 SiO_2	2		矽肺									2230 (1710)		2.2;2.6	
190	四氯化锡 $SnCl_4$	(2)		中毒									114.2		液体 2.226	s
191	锶 Sr		(11.5)	化合物有一定毒性									1500		2.6^{20}	
192	钽 Ta	(5)		中毒									约 6000		16.69	i
193	铽 Tb								粉末自燃				2800 (1356)		8.272	i
194	碲 Te	(0.1)	0.01	中毒					在空气中慢慢燃烧				1390		6.25	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa	相对密度	溶解度
195	钍 Th							5	粉末自燃		有爆炸危险		4230		11.7	i
196	硝酸钍 $Th(NO_3)_4$				1	0	1		氧化性物质							
197	钛 Ti							5	能在氮中燃烧		粉末有爆炸危险		3262		4.5[20]	i
198	二氧化钛 TiO_2	(15)											1825		4.17	i
199	四氯化钛 $TiCl_4$		(0.1)			W							136.4		液体 1.726	s
200	铊 Tl			很毒，建议容许浓度 0.1mg·m^{-3}									1460 (303.5)		11.85	
201	可溶性铊化合物	(0.1)S		中毒												
202	硫酸亚铊 Tl_2SO_4			吞服引起惊厥、麻痹									d		6.77	δ
203	铀 U	(0.25)		中毒				5	粉末自燃				3818 (1150)		19.08[8]	i
204	可溶性铀化合物	(0.05)		中毒												
205	不溶性铀化合物	(0.25)		中毒												
206	五氧化二钒 V_2O_5		0.1(V)	慢性中毒									d 1750		3.357[18]	δ
207	钒的粉尘 V_2O_5	0.5(0.5)		刺激												
208	钒的烟雾 V_2O_5	0.1(0.1)		刺激												
209	氙 Xe			可使人窒息									−108		气 5.897 g·L^{-1}	
210	钇 Y	(1)		中毒					粉末自燃				1427 (824)		4.34	d
211	锌 Zn		1.0	燃烧产物会引起发热	0	1	1	5	粉末可在空气中燃烧		有爆炸危险		907 (419)		7.14	i
212	氯化锌 $ZnCl_2$	(1)		刺激	2	0	2						732		2.91[25]	v
213	氧化锌烟尘	5(5)		金属(烟雾)热												

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/C	θ/C	θ/C	133.32Pa		
214	硬脂酸锌 $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$							1,3			276OC	429	(130)			i
215	锆 Zr								粉末有爆炸危险				>2900 (1830)		6.49	i
216	锆化合物 Zr	5(5)		中毒												

（二）有机化合物

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/C	θ/C	θ/C	133.32Pa		
1	三溴甲烷 $CHBr_3$	(50)皮		中毒									149.5	5.6^{25}	2.8899	δ
2	一氯二氟甲烷 $CHClF_2$		(10)	低毒，容许浓度体积分数 $\varphi=10^{-3}$					不燃				−40.8		1.118	i
3	二氯一氟甲烷 $CHCl_2F$	(4200)		麻醉				4				552	9		1.426	i
4	三氯甲烷 $CHCl_3$	(240)		慢性中毒									61.2	200^{25}	1.4916	δ
5	三氯代甲硫醇 Cl_3CSH	(0.8)		刺激												
6	溴氯甲烷 CH_2BrCl	(1050)		麻醉									69	155～160^{25}	1.991	δ
7	二氯甲烷 CH_2Cl_2	(1700)	(7.5)	皮肤接触发痛、麻醉	2	0	0		(15.5～66 在 O_2 中)			662	40	440^{25}	1.335	δ
8	重氮甲烷 CH_2N_2	(0.4)		剧毒，过敏，有生命危险，致癌物质					爆炸		气	极危险	−23			d
9	甲醛 CH_2O	3(3)	0.5，(0.001)	对皮肤、呼吸道过敏		4		1,4	7.0	73	气	430	−21			
10	甲酸 CH_2O_2	(9)		刺激	3	2	0	1,3			69	601	100.7	43^{25}	1.220^{20}	∞
11	溴甲烷 CH_3Br	1(80)皮		慢性中毒	3	1	0			16		537	3.59		1.732	δ
12	氯甲烷 CH_3Cl	(210)		慢性中毒	2	4	0		8.1	17.4		652	−23.76		0.92	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m⁻³	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L⁻¹	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或、相对密度	在水中的溶解度
13	碘甲烷 CH_3I	1(78)皮		中毒									42.5		2.28	δ
14	硝基甲烷 CH_3NO_2	(250)	(0.005)	刺激中毒	1	3	4	3	7.3		35	379	108	27.8^{20}	1.1354	s
15	甲烷 CH_4			单纯窒息				4	5.0	15.0		537	−161.49		0.415	δ
16	秋兰姆 CH_4N_2S	(5)		中毒											1.17	i
17	甲醇 CH_4O	50(260)	(3.0)	麻醉中毒，永久性伤害	1	3	0	3	6.0	36	11	446	64.96	160^{30}	0.7914	∞
18	甲磺酸 CH_4O_3S			刺激皮肤，但不吸入									(20)		1.4812	v
19	甲硫醇 CH_4S	(20)	(0.0002)	浓度高会引起麻醉、中毒	2	4	0	4	3.9	21.8	<−18		6 (−123)	$760^{-6.8}$	0.8665	δ^h
20	甲胺 CH_5N	5(12)	(1.0)	皮肤、呼吸道过敏	3	4	0	3,4	4.9	20.7	气	430	−6.32 (93.46)	1520^{25}	0.699^{11}	v
21	甲肼 CH_6N_2	(0.35)皮		中毒							<27		87	49.6^{25}	0.9	δ
22	一溴三氟甲烷 $CBrF_3$			麻醉					不燃				−59			δ
23	二溴二氟甲烷 CBr_2F_2	(860)		毒性较低					不燃				24.5		2.28	s
24	四溴化碳 CBr_4			很毒	3	0	1						189.5		3.42	δ
25	一氯三氟甲烷 $CClF_3$			毒性较低					不燃				−84.1		7.01 g·L⁻¹	i
26	二氯二氟甲烷 CCl_2F_2		(10)	麻醉					不燃				−29	10^{23}	1.292	s
27	光气 CCl_2O	(0.4)		剧毒							气		8.02	568^{0}	1.392	d
28	三氯氟甲烷 CCl_3F	(5600)		麻醉									23.77		液 1.464	δ
29	氯化苦 CCl_3NO_2	(0.7)		刺激眼、鼻、喉									112	16.9^{20}	1.6558	δ^h
30	碳酰氟 CF_2O			对器官强烈刺激									−83.1		1.139	d
31	四氟化碳 CF_4			毒性低，有麻醉作用					不燃气体				−129	760^{-128}	3.42^{0}	δ

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m⁻³	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L⁻¹	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
32	四氯化碳 CCl_4	25(65)皮	(0.3)	中毒					不燃烧，热分解产物很毒				120.8	113^{25}	1.6311	δ
33	四硝基甲烷 $C(NO_2)_4$	(8)	(0.5)	中毒									126	13^{25}	1.6372_4^{24}	i
34	三氯乙烯 C_2HCl_3	(530)	(0.5)	慢性中毒					12.5	90	32		87	77^{25}	1.462^{15}	δ
35	三氯乙醛 C_2HCl_3O		(0.2)	吸入可能引起致命的肺脏伤害									99.7 (57.5)		1.505	
36	二氯乙酰氯 C_2HCl_3O				3	2	1				66		107～108		1.5315	d
37	三氯醋酸 $C_2HCl_3O_2$			刺激									197.5 (57.5)		1.6298	
38	三氟醋酸 $C_2HF_3O_2$			刺激									72.4	191^{37}	1.5351^{0}	
39	乙炔 C_2H_2			单纯窒息	1 1	4 4	2 3	(溶解在丙酮中，贮存在钢瓶内) 4	2.5	81		299	−83.6 升华		0.6181_4^{-82}	δ
40	1,1,2,2-四溴乙烷 $C_2H_2Br_4$	(14)		分解释放出剧毒蒸气	3	0	1						d239～242		2.9672	i
41	氯乙腈 C_2H_2ClN			刺激眼、鼻、喉									123～124		1.193^{20}	v
42	1,1-二氯乙烯 $C_2H_2Cl_2$			慢性中毒	2	4	2		5.6	11.4	−15	458	37		1.3	
43	顺式 1,2-二氯乙烯 $C_2H_2Cl_2$	(790)		慢性中毒	2	3	2	2,3	9.7	12.8	4		60.3	208^{25}	1.2837	δ
44	反式 1,2-二氯乙烯 $C_2H_2Cl_2$			慢性中毒	2	3	2	2,3	9.7	12.8	2		47.5	324^{25}		
45	氯乙酰氯 $C_2H_2Cl_2O$			刺激眼、鼻、喉									108～764		1.4177_4^{20}	d
46	二氯乙酸 $C_2H_2Cl_2O$												192～193	1^{14}	1.5634	∞
47	1,1,2,2-四氯乙烷 $C_2H_2Cl_4$	(35)皮		中毒									146	6^{25}	1.5984	δ
48	1,1-二氟乙烯 $C_2H_2F_2$								5.5	21.3			−85.7		0.585_{25}^{25} g·L⁻¹	δ
49	乙烯酮 C_2H_2O	(0.9)		皮肤、呼吸道过敏，中毒									−56			d

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
50	乙二醛 $C_2H_2O_2$			皮肤染色;皮肤、呼吸道过敏							220		50.4		1.14^{20}	v
51	草酸 $C_2H_2O_4$	(1)											157 升华		1.90	s
52	溴乙烯 C_2H_3Br								可燃				15.8		1.4933	
53	溴乙酸 $C_2H_3BrO_2$			有毒									208		1.934	v
54	乙酰溴 C_2H_3BrO			刺激眼睛,内吸危险									76.7		1.663	d
55	氯乙烯 C_2H_3Cl	30(1300)		麻醉、中毒	2	4	2	3	4	22	13	472	84	87^{25}	1.256	δ
56	1-氯-1,1-二氟乙烷 $C_2H_3ClF_2$			毒性较低				4	9.0	14.8	可燃	632	−9.2		1.118	δ
57	氯乙酸 $C_2H_3ClO_2$												189	1^{43}	1.4043	v
58	乙酰氯 C_2H_3ClO				3	3W	2	3			4	390	51.2		1.1039	d
59	氯甲酸甲酯 $C_2H_3ClO_2$			有毒、刺激、避免任何接触					可燃		12	504	71～72		1.236	d
60	1,1,1-三氯乙烷 $C_2H_3Cl_3$	(1900)		麻醉									74	127	1.3492	i
61	1,1,2-三氯乙烷 $C_2H_3Cl_3$	(45)皮		慢性中毒									113.7	16.7^{20}	1.4432	δ
62	氯乙醛 C_2H_3ClO	(3)		刺激									85(43)		1.190	v
63	氟乙烯 C_2H_3F			低毒	2	4	1		2.6±0.5	21.7±10			−72			
64	碘乙酸 $C_2H_3IO_2$			可能引起皮肤病									d			s^h
65	乙腈 C_2H_3N	3(70)	5(0.7)	中毒	2	3	1	3	4.4	16.0	8	524	80.06	73^{20}	0.7856	s
66	异氰酸甲酯 C_2H_3NO	(0.05)皮		刺激剧毒				3	5.3	26.0	7.2OC	534	39.1		0.7557	δ
67	异硫氰酸甲酯 C_2H_3NS												119		1.6691	δ
68	乙烯 C_2H_4		(0.5)	用作麻醉剂	1	4	2	4	3.1	32		450	−104		0.00126	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
69	1,2-二溴乙烷 $C_2H_4Br_2$	(190)皮		慢性中毒									131	12^{25}	2.180^{20}_{4}	δ
70	氯乙酰胺 C_2H_4ClNO			很毒									224(121)			s
71	1,2-二氯乙烷 $C_2H_4Cl_2$	(200)		刺激呼吸道和粘膜，引起麻醉、中毒	2	3	0		6.2	16	13	413	84	87.25	1.256	δ
72	1,1-二氯乙烷 $C_2H_4Cl_2$	(400)		慢性中毒	2	3	0				6		57	234^{25}	1.1776	δ
73	1,1-二氟乙烷 $C_2H_4F_2$			低毒，但在使用时要适当通风，以防缺氧而窒息				4	3.7	18.0			−24.7		0.895^{25} $g \cdot ml^{-1}$	i
74	乙二醇二硝酸酯 $C_2H_4N_2O_6$	(2)		中毒									179±3	0.049^{20}	1.4918	i
75	乙醛 C_2H_4O	(300)	0.05 (0.2)	皮肤、呼吸道过敏	2	4	2	1,3,4	4.1	55	−38	185	20.8	740^{20}	0.780～0.790^{20}_{20}	∞^{h}
76	环氧乙烷 C_2H_4O	5(90)		刺激、中毒	2	4	3	1,3,4	3	100	<−18	429	13～14 (−113)	$625^{5.6}$	0.822^{16}_{16}	s
77	乙酸 $C_2H_4O_2$	(25)		刺激	2	2	1	1,3	4.0	16.0	43	524	118.5	15^{25}	1.048～1.053^{20}_{20}	∞
78	甲酸甲酯 $C_2H_4O_2$	(750)		刺激	2	4	0	3,4	5.9	20	−19	456	31.50	600^{26}	0.9867^{15}	s
79	过乙酸 $C_2H_4O_3$			刺激	3	2	4		可燃液体，对热和震动敏感		41		105 110爆炸		1.226	v
80	溴乙烷 C_2H_5Br	(880)		刺激、中毒	2	3	0		6.7	11.3		511.11	38.4	475^{25}	1.4604	δ
81	氯乙烷 C_2H_5Cl	(2600)		麻醉、中毒	2	4	1	3,4	3.8	15.4	−50	519	131	539^{25}	0.9028	δ
82	2-氯乙醇 C_2H_5ClO	(16)皮		慢性中毒	3	2	0		4.9	15.9	60	425	128	4.9^{20}	1.204	∞
83	氯甲醚 C_2H_5ClO			对眼、鼻强刺激											1.07	
84	碘乙烷 C_2H_5I								可燃				72		1.950	δ^{d}
85	乙撑亚胺 C_2H_5N	(1)		皮肤、呼吸道过敏、中毒	3	3	3	1,3	3.6	46	−11	322	56	160^{20}	0.831	∞
86	亚硝酸乙酯 $C_2H_5NO_2$			分解形成有毒的氮的氧化物	2	4	4		4.1	50	−35	d90	17.2			

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/C	θ/C	θ/℃	133.32Pa		
87	硝基乙烷 $C_2H_5NO_2$	(310)	(1.0)	麻醉刺激	1	3	3	3	3.4		38	360	115 爆炸	15.6^{20}	1.0448	s
88	硫代乙酰胺 C_2H_5NS			动物致癌									d			δ
89	乙烷 C_2H_6			高浓度时单纯窒息	1	4	0	4	3.0	12.5		515	−88.63		0.572	i
90	亚硝基二甲胺 C_2H_6NO			由于这一化合物剧毒和可能致癌,不应有任何接触												
91	甲醚 C_2H_6O					4	6	3,4	3.4	18	气	350	−23.6	2128^{0}	0.661	δ
92	乙醇 C_2H_6O	(1900)		刺激中毒	0	3	0	1,3	3.3	19	13	423	78.5	50	0.7893	∞
93	2-巯基乙醇 C_2H_6OS		(0.64)		2	2		1,3			74		157~158		1.1143	s
94	碳酸二甲酯 $C_2H_6O_3$					3	1				19		90		0.62924_{4}^{20}	i
95	硫酸二甲酯 $C_2H_6O_4S$	(5)皮		可能致癌、刺激	4	2	0	1,2,3			83		185.5		1.3322	s
96	乙硫醇 C_2H_6S	(1)		中毒	2	4	0		2.8	18.0	<27	299	37 (−144.4)		0.8391	δ
97	二甲硫 C_2H_6S		(0.01)		4	4	0	3	2.2	19.7	<−18	206	37.3		0.8458	i
98	二甲胺 C_2H_7N	10(18)	(0.1)	皮肤、呼吸道过敏、中毒	3	4	0	3,4	2.8	14.4	<−18	430	7.4	2 大气压^{10}	0.6804_{4}^{0}	v
99	乙胺 C_2H_7N	(18)	(0.5)	刺激				1,3,4	3.5	14.0			16.6	400^{2}	0.6892_{15}^{15}	∞
100	乙胺(70%水溶液) C_2H_7N	(18)		刺激	3	4	0	1,3	3.5	14.0	−18	384	17.		0.8	∞
101	氨基乙醇 C_2H_7NO	(6)	(0.5)	中毒	2	2	0	1,3			85		170	0.4^{20}	1.0180	∞
102	1,1-二甲基肼 $C_2H_8N_2$	(1)皮		中毒					2	95	−15	249	81	156.8^{25}	0.7914^{22}	v
103	乙二胺 $C_2H_8N_2$	(25)	(0.2)	皮肤、呼吸道过敏	3	2	0	1,3			43		116.5	$10^{21.5}$	0.8995_{20}^{20}	v
104	溴三氟乙烯 C_2BrF_3			有窒息和麻醉作用					不燃				−2~0			
105	一氯五氟乙烷 $CClF_5$			基本无毒,提出容许浓度 10^{-3} 体积分数					正常温度不燃				−38.7		1.26	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
106	一氯三氟乙烯 C_2ClF_3	(100)		中毒	3	4	2	4	8.4	38.7					1.305	
107	草酰氯 $C_2Cl_2O_2$			剧烈烧伤吸入危险									63～64		1.488_4^{13}	d
108	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷 $C_2Cl_3F_3$	(7600)		麻醉									47.7		1.5635	i
109	三氯乙腈 C_2Cl_3N			有毒									84.6^{741}		1.4403	
110	四氯乙烯 C_2Cl_4	(760)		麻醉												
111	1,1,2,2-四氯-2,2-二氟乙烷 $C_2Cl_4F_2$	(4170)		中毒									91.5			i
112	1,1,2,2-四氯-1,2-二氟乙烷 $C_2Cl_4F_2$	(4170)		中毒									92.8		1.6447	i
113	六氯乙烷 C_2Cl_6	(10)皮		中毒									186		2.091	i
114	六氟乙烷 C_2F_6			低毒,防止分解产物吸入					不燃				−79		1.590^{-78}	
115	氰 C_2N_2	(25)		中毒					6	32	气		−21	2.895^{25}	0.9537	
116	1,2-二氯四氟乙烷 $C_2F_4Cl_2$	(7000)		低毒、麻醉					不燃				3.6		1.440	i
117	丙二腈 C_3H_2N		(0.02)	毒性与氰化物相似									218～219		1.0494	s
118	溴丙炔 C_3H_3Br								加热要爆炸				80～90		1.520	
119	丙烯腈 C_3H_3N	2(45)皮	2.0(2.0)	慢性中毒	4	3P	2	3	3.0	17	0	481	77.5～77.9	110～115^{20}	0.8060	s,v^h
120	液化石油气 C_3—C_4	(1800)		麻醉												
121	丙二烯 C_3H_4			麻醉					极易着火				−34.5		1.787	
122	丙炔 C_3H_4	(1650)		麻醉	2	4	2	4	1.7		气		−23.2	744^{235}	0.7062	
123	1,3-二氯丙烯 $C_3H_4Cl_2$		(0.4)								21		104	52^0	1.225	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		健康危害	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
124	氰基乙酰胺 $C_3H_4N_2O$			低毒									(118)			s
125	丙烯醛 C_3H_4O	0.3(0.25)	0.1(0.01)	皮肤、呼吸道过敏	3	3	2	3	2.8	31	>18	278	52.5~53.5	214^{20}	0.8625	v
126	炔丙基醇 C_3H_4O			刺激眼、鼻、喉									114~115		0.9628	s
127	丙烯酸 $C_3H_4O_2$		(0.5)					1			49	429	141.6	3.1^{20}	1.0511	∞
128	羟基丙酸 $C_3H_6O_3$			剧毒，并证明在动物皮肤上产生肿瘤，应防止任何接触												
129	3-溴丙烯 C_3H_5Br				3	3	1		4.4	7.3	−1	295	70		1.398	i
130	3-氯丙烯 C_3H_5Cl	(3)	(0.3)	慢性中毒、刺激	3	3	1		3.3	11.1	−32	392	45	365^{25}	0.9397	i
131	1-氯-2，3-环氧丙烷 C_3H_5ClO	(20)			3	2	0				41		116.5	13^{20}	1.180	δ,d^h
132	1-氯-2-丙酮 C_3H_5ClO			强刺激									179		1.15^{20}	s
133	丙酰氯 C_3H_5ClO				3	3	1				12		80		1.0646_4^{20}	d
134	氯甲酸乙酯 $C_3H_5ClO_2$					3	1	3			16		95		1.3577_4^{20}	d
135	1,2,3-三氯丙烷 $C_3H_5Cl_3$	(300)		慢性中毒，刺激	3	2	0				82		156		1.394_4^{15}	δ
136	3-碘丙烯 C_3H_5I			刺激眼、鼻、喉									102~103		1.8454	i
137	乳腈(丙醇腈) C_3H_5NO			剧毒							77			10^{74}	0.992	∞
138	丙烯酰胺 C_3H_5NO	(0.3)皮		皮肤呼吸道过敏、中毒							138	424	d		1.122	v
139	硝化甘油 $C_3H_5(NO_3)_3$	(2)		中毒					极危险，受热和震动猛烈爆炸							
140	环丙烷 C_3H_6	(800)		吸入窒息	1	4	0	4	2.4	10.4		498	−33	786^{-32}	0.7204^{-79}	δ
141	丙烯 C_3H_6	(800)	(0.5)	单纯窒息，麻醉剂	1	4	1		2.4	10.3		927	−47.7		液 0.5139	v

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg \cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg \cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 上限	闪点 $\theta/°C$	着火点 $\theta/°C$	沸点（熔点） $\theta/°C$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
142	1-氯-1-硝基丙烷 $C_3H_6ClNO_2$	(100)		刺激		2	3	1,3			62		141～143	5.8^{25}	1.209	δ
143	丙酮 C_3H_6O	400(2400)		麻醉	1	3	0	1,3	2.6	12.8	−20	538	56.2	226^{25}	0.7908	∞
144	丙烯醇 C_3H_6O	2(5)皮	(0.1)		3	3	1	1,3	2.5	18	21	378	97	23.8^{25}	0.845^{20}_{4}	
145	甲氧基乙烯 C_3H_6O				2	4	2				气		8		0.7725	δ
146	丙醛 C_3H_6O			皮肤呼吸道过敏	2	3	1		2.9	17	−9～−7	207	48.8	300^{25}	0.807^{20}_{4}	s
147	氧化丙烯 C_3H_6O	(240)		皮肤呼吸道过敏、中毒	2	4	2	3,4	2.1	21.5	−37		33.9	445^{20}	0.8304^{20}_{20}	s
148	甲酸乙酯 C_3H_6O	(300)			2	3	0	2,3	2.7	13.5	−20	455	54.3	200^{21}	0.9117	s
149	醋酸甲酯 $C_3H_6O_2$	100(640)	(0.1)	麻醉、中毒				3	3.1	16	−10	502	57	235^{25}	0.9723	v
150	丙酸 $C_3H_6O_2$				2	2	0				54	513	141	10^{40}	0.994^{20}_{20}	∞
151	缩水甘油 $C_3H_6O_2$	(100)		中毒										0.9^{25}	1.117^{20}_{4}	∞
152	三噁烷 $C_3H_6O_3$				2	2	0	2,3	3.6	29	45	414	114.5		1.17	v
153	1-氯丙烷 C_3H_7Cl			慢性中毒	2	3	0		2.6	11.1	<−18		46.60	350^{25}	0.8923	δ
154	丙烯胺 C_3H_7N			刺激性	3	3	1	1,3	2.2	22	−29	374	58		0.7613	∞
155	丙烯亚胺 C_3H_7N	(5)皮		皮肤呼吸道过敏、中毒									63.64			s
156	二甲基甲酰胺 C_3H_7NO	(30)s		中毒	1	2	0	1,2,3		15.2	58	445	15.3	3.7^{25}	0.9445^{25}_{4}	∞
157	1-硝基丙烷 $C_3H_7NO_2$	(90)		中毒	1	2	3	3	2.6		49	421	130.5～131.5	7.5^{30}	1.0221	δ
158	2-硝基丙烷 $C_3H_7NO_2$	(90)		中毒	1	2	3	3	2.6		39	428	加热至120°C可能爆炸	12.9^{20}	1.024	δ
159	硝酸丙酯 $C_3H_7NO_3$	(110)		中毒	2	3	3	1,2,3	2	100	20	117	110.5	16^{25}	1.0580	δ
160	丙烷 C_3H_8	(1800)		单纯窒息	1	4	0	4	2.2	9.5	气	466	−44.5	8.8^{20}	0.5834^{25}_{4}	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg \cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg \cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点（熔点） θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
161	异丙醇 C_3H_8O	(980)	(0.25)	麻醉、刺激	1	3	0	1,3	2.3	12.7	12	399	82.4	44^{25}	0.7851^{20}_{4}	∞
162	甲基乙基醚 C_3H_8O			麻醉剂	2	4	1		2	10.1	−37	190	11			
163	正丙醇 C_3H_8O	200(500)	(0.25)	麻醉	1	3	0		2.5	13.5	22	404	97.1	20.8^{25}	0.7796	v
164	甲醛缩二甲醇 $C_3H_8O_2$	(3000)		中毒	2	3	2	3			−18	237	43.9	400^{25}	0.856	v
165	2-甲氧基乙醇 $C_3H_8O_2$	(80)皮		慢性中毒				1,3	2.3	24.5	39	288	124.3	9.7^{25}	0.9647	∞
166	硼酸三甲酯 $C_3H_9BO_3$				2	3	1				<27		67.8		0.915^{20}	d
167	异丙胺 C_3H_9N	(12)		刺激	3	4	0	1,3,4	2.0	10.4	−37	402	33.0	460^{20}	0.691	∞
168	丙胺 C_3H_9N		(0.5)		3	3	0		2.0	10.4	−37	318	49	$400^{31.5}$	0.719^{28}_{28}	s
169	三甲胺 C_3H_9N		(0.2)		3	4	0	4	2.0	11.6	气	190	3.5	$760^{2.9}$	0.6079	v
170	马来酐 $C_4H_2O_3$	(1)		皮肤呼吸道过敏、中毒	3	1	1	1,3	1.4	7.1	102	477	196	0.16^{20}		i
171	呋喃 C_4H_4O		(0.5)		1	4	1				<0		32		0.9366^{20}_{4}	i
172	马来酸 $C_4H_4O_4$			皮肤呼吸道过敏									(130)			
173	噻吩 C_4H_4S		(2.0)								−1.1		84.12		1.0583^{20}_{4}	i
174	2-氯-1,3-丁二烯 C_4H_5Cl	(90)皮		慢性中毒				4	4.0	20.0	−20		59.4	215.4	0.9583^{20}_{20}	δ
175	1-氯-丁二烯 C_4H_5Cl	2	(0.1)		3	4	2	4	4.5	16	<−6.1		32.8		0.9	
176	丁烯酰氯 C_4H_5OCl			刺激眼和呼吸道									124～125		1.0905	d
177	1,2-丙二醇碳酸酯 $C_4H_5O_3$				1	1	0	1,3			135		168		0.9435^{20}_{4}	δ
178	1,3-丁二烯 C_4H_6	100(2000)		麻醉	2	4	2	4	2.0	11.5	气	42.9	−4.4			i
179	1-丁炔 C_4H_6			单纯窒息					可燃				8.1		0.669	

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/C	θ/C	θ/C	133.32Pa		
180	1,3-二氯-2-丁烯 $C_4H_6Cl_2$		(0.1)		2	3	0				27		125～130			
181	丁烯醇 C_4H_6O				2	3	2	2,3			−2		79～80		0.8636_{4}^{20}	
182	丁烯醛 C_6H_6O	(6)		皮肤呼吸道过敏、中毒	3	3	2	3	2.1	15.5	7	207	104	1920	0.869_{20}^{20}	v
183	乙基乙炔基醚 C_4H_6O										<−7		50		0.7929	形成过氧化物
184	乙烯基醚 C_4H_6O				2	3	2		1.8	36.5	−47	60	39		0.769	s
185	丁内酯 $C_4H_6O_2$			皮肤刺激							79		206		1.049_{20}^{20}	∞
186	异丁烯酸 $C_4H_6O_2$				3	2	2				77		162.3	$1^{25.5}$	0.9504	
187	丙烯酸甲酯 $C_4H_6O_2$	(35)皮	(0.02)	呼吸道皮肤过敏	2	3	2		2.8	25	−3		80.5 (−76.5)	100^{28}	0.9561	s
188	乙酸酐 $C_4H_6O_3$	(20)		刺激	2	2	2	3	2.9	10.3	54	380	140	10^{36}	1083_{0}^{10}	v
189	溴乙酸乙酯 $C_4H_7BrO_2$										48		159		1.5059_{20}^{20}	i
190	3-氯-2-甲基-丙烯 C_4H_7Cl			刺激眼和呼吸道									71.5～72.5		0.925	
191	氯乙酸乙酯 $C_4H_7ClO_2$			刺激眼、鼻、喉	2	2	0				66		147		1.2570_{4}^{4}	i
192	敌敌畏 $C_4H_7Cl_2O_4P$	(1)皮		中毒									84	0.01^{30}	1.415	δ
193	氟乙酸乙酯 $C_4H_7FO_2$			剧毒												
194	2-甲基乳腈 C_4H_7NO	(40)		剧毒	4	1	2				74	688	82	0.8^{20}	0.932	s
195	2-丁烯 C_4H_8	100	(0.2)	单纯窒息				4	1.7	9.0		230	3.7	760	0.6213	i
196	1-丁烯 C_4H_8			单纯窒息	1	4	0	4	1.6	9.3	−80	384	−6.3	$760^{-6.3}$	0.5946	i
197	异丁烯 C_4H_8			单纯窒息	1	4	0	4	1.8	8.8	气	465	−6.6		0.5992	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m^{-3}	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L^{-1}	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
198	二氯乙醚 $C_4H_8Cl_2O$	(30)		慢性中毒	2	2	0	1,2,3			55	369	178	0.13^{20}	1.2199	i
199	1,4-二亚硝基哌嗪 $C_4H_8N_4O_2$			动物致癌												
200	2-丁酮 C_4H_8O			刺激	1	3	0		1.7	11.4	7	474	79.6		0.8054	v
201	丁醛 C_4H_8O	10		皮肤呼吸道过敏	2	3	1	3	1.9		−22	218	75.7 (−99)	90^{20}	0.8170_{4}^{20}	s
202	乙烯基乙基醚 C_4H_8O										<−46		36	4.28	0.754	s
203	异丁醛 C_4H_8O				2	3		3	1.6	10.6	−16	210	62	115^{20}	0.787～0.791_{20}^{20}	s
204	1,2-丙撑二醇 C_4H_8O				0	1	0	1,3	2.6	12.5	99	421	189	0.19^{25}	1.0361	∞
205	四氢呋喃 C_4H_8O	(590)		刺激、中毒	2	3	1	1,3	2	11.8	−14	321	64～65		0.888	v
206	乙酸乙酯 $C_4H_8O_2$	300(1400)	(0.1)	刺激	1	3	0	3	2.2	11.5	4	524	77.06	100^{35}	0.9005	s
207	正丁酸 $C_4H_8O_2$				2	2	0	1,3	2.0	10.0	66	452	163.5	0.84^{25}	0.957	∞
208	二噁烷 $C_4H_8O_2$	(360)皮		慢性中毒(肺癌)	2	3	1	1	2.0	22	12	360	101	37^{25}	1.0336_{4}^{21}	∞
209	甲酸丙酯 $C_4H_8O_2$				2	3		2,3			−3	455	81.3	85^{25}	0.9006	δ
210	八氟环丁烷 C_4F_8			有一定毒性									1.2		液 1.5297	
211	1-溴丁烷 C_4H_9Br				2	3	0				18	265	101.3		1.2764_{4}^{20}	i
212	氯丁烷 C_4H_9Cl			慢性中毒	2	3	0		1.8	10.1	7	460	78.4		0.8865	i
213	氯乙醛 $C_4H_9ClO_2$					2	0	3			44	232	124.5～126.5			
214	四氢吡咯烷 C_4H_9N				2	3	1	1,3			3		88.5～89.0	128^{139}	0.8520	∞
215	*N*,*N*-二甲基乙胺 C_4H_9NO	(35)皮		皮肤呼吸道过敏、中毒	3	4	0	3,4	2.8	14.4	<−18	430	7.4	$2atm^{10}$	0.6804	v

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg\cdot m^{-3}$	地面水 $mg\cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
216	吗啉 C_4H_9NO	(70)皮	(0.04)	刺激，中毒	2	3	0	1,3			38		128	δ^{20}	0.9994	∞
217	正丁基锂 C_4H_9Li			皮肤接触腐蚀性烧伤					若浓度大会自燃，往往溶解在非常可燃溶剂之中							
218	丁烷 C_4H_{10}			单纯窒息	1	4	0	4	1.9	8.5	气	405	−0.5	1823^{25}	0.6012	v
219	异丁烷 C_4H_{10}				1	4	0	4	1.8	8.4	气	462	−12		0.563	s
220	氯化二乙基铝 $C_4H_{10}AlCl$			腐蚀性很强，燃烧产物有毒	3	3	0	3	与空气接触要燃烧				208			d
221	三氟化硼乙醚络合物 $C_4H_{10}BF_3O$				3	2	0				64		101 (126.8)		1.1	
222	正丁醇 $C_4H_{10}O$	200(300)	(1.0)	麻醉	1	3	0	1,3	1.7	18	29	365	117.5	6.5^{25}	0.8098	s
223	异丁醇 $C_4H_{10}O$	(450)	(1.0)	麻醉	1	3	0	1,3			24	406	99.5	23.9^{30}	0.8080	s
224	叔丁醇 $C_4H_{10}O$	(300)		刺激、麻醉	1	3	0	1,3	2.4	8.0	11	478	82.2～83	42.0^{25}	0.7856_4^{26}	∞
225	乙醚 $C_4H_{10}O$	500(1200)	(0.3)	麻醉	2	4	1	3,4	1.9	4.8	−45	180	34.6	438.9	0.714	s
226	异丁醇 $C_4H_{10}O$	(300)		刺激	1	3	0	1,3	1.7	10.9	28	441	107	12.2^{25}	0.805	s
227	1,2-二甲氧基乙烷 $C_4H_{10}O_2$					2	0				40		85		0.8665_4^{20}	s
228	2-乙氧基乙醇 $C_4H_{10}O_2$	(740)皮		中毒					1.7	15.6	43	238	135	5.3^{25}	0.9297	∞
229	叔丁基氢过氧化物 $C_4H_{10}O_2$				1	4	4	3	可燃，对热和震动敏感		38	爆炸	d		0.860	δ
230	硫酸二乙酯 $C_4H_{10}O_4S$			可能使动物致癌	3	1	1	3			104	436	208		1.1774	i,d^h
231	正丁硫醇 $C_4H_{10}S$	(35)	(0.006)	中毒	2	3	0				2		97.8			δ
232	叔丁硫醇 $C_4H_{10}S$				0	3			可燃		<−29		64.22	0.7947		i
233	二乙基锌 $C_4H_{10}Zn$			燃烧生成 ZnO 烟尘，容许浓度 $5mg\cdot m^{-3}$	0	3	3		与空气接触着火，与水反应激烈				118 (28)		1.207	d

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg \cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg \cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 健康危害	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 上限	闪点 $\theta/°C$	着火点 $\theta/°C$	沸点(熔点) $\theta/°C$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
234	正丁胺 $C_4H_{11}N$	(15)皮		皮肤呼吸道过敏、刺激	3	3	0	1,3	1.7	9.8	−12	312	77.8	70^{20}	0.764	∞
235	叔丁胺 $C_4H_{11}N$				3	4	0						45.2		0.696^{20}_{4}	∞
236	二乙胺 $C_4H_{11}N$	(75)	(2.0)	刺激	3	3	0	3	1.8	10.1	<−26	312	56.3	195^{20}	0.7108	v
237	异丁胺 $C_4H_{11}N$				3	3	0				−9	378	65.6	100	0.733	
238	醋酸铅 $C_4H_{12}O_7Pb$			慢性中毒									(280)		305	s
239	四甲基铅 $C_4H_{12}Pb$	(0.075)皮		中毒	3	3	3				38		110		1.995	i
240	二乙三胺 $C_4H_{13}N_3$			刺激腐蚀可以引起过敏							102	399	207.1	0.37^{20}	0.9542	∞^{d}
241	糠醛 $C_5H_4O_2$	(20)皮	(1.0)	刺激	1	2	1	1,2,3	2.1		60	316	161.7	1^{19}	1.1598	s, v^{h}
242	柠康酐 $C_5H_4O_3$			皮肤呼吸道过敏									213～214		1.2469	d
243	吡啶 C_5H_5N	4(15)	0.2,(0.2)	中毒	2	3	0	1,3	1.8	12.4	8	543	115.5	20^{25}	0.9819^{20}	∞
244	环戊二烯 C_5H_6	(200)		中毒									40.83 (−85)		0.8021	i
245	1,3-二氯-5,5-二甲基海因 $C_5H_6Cl_2N_2O_2$	(0.2)		中毒												
246	2-氨基吡啶 $C_5H_6N_2$	(2)		中毒									204			s
247	2-甲呋喃 C_5H_6O					3	1				−30		63～63.5		0.9159^{20}_{8}	δ
248	糠醇 $C_5H_6O_2$	(20)		中毒	1	2	1	1,3	1.8	16.3	75	491	171^{750}	$1^{31.8}$	1.1296^{20}_{4}	∞^{d}
249	1-甲基吡咯 C_5H_7N		(0.05)			3					16		115～116		0.9145	δ
250	甲基-1,3-丁二烯 C_5H_8				2	4	1	3,4			−54	220	34		0.6810^{20}_{4}	i
251	环戊酮 C_5H_8O				2	3	0				26		130.65		$0.9509^{13.2}_{4}$	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m^{-3}	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L^{-1}	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点（熔点） θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
252	二氢吡喃 C_5H_8O					0	3				18		86～87		0.922_{15}^{19}	s
253	丙烯酸乙酯 $C_5H_8O_2$	(100)皮	(0.005)	皮肤呼吸道过敏	2	3P	2		1.8	饱和	8.9	385	99.1～99.5	16.5^{10}	0.924_4^{20}	s
254	乙酸异丙烯酯 $C_5H_8O_2$				2	3					16		92—94		0.9090	δ
255	异丁烯酸甲酯 $C_5H_8O_2$	(410)	(0.01)	刺激	2	3P	2		2.1	12.5	10	421	100	68.2^{20}	0.936	δ
256	乙酰丙酮 $C_5H_8O_2$			皮肤呼吸道过敏	2	2	0				41	340	140.5 (−23.5)		0.9721	v
257	环戊烷 C_5H_{10}				1	3	0				<7		49.3		0.7510_4^{20}	i
258	1-己烯 C_5H_{10}				1	3	0				<−7		63.3		0.70^{15}	i
259	2-甲基-1-丁烯 C_5H_{10}					4	0				<−7		38.6		0.6623	i
260	2-甲基-2-丁烯 C_5H_{10}					3	0				<−7		38～42		0.6670_4^{15}	δ
261	*N*-甲基丁胺 C_5H_{10}			毒性大有刺激									20.06	434^5	0.627	
262	2-戊酮 $C_5H_{10}O$	(700)		刺激					1.55	8.15	7.2		102	16^{25}	0.8124_5^{13}	δ
263	3-戊酮 $C_5H_{10}O$				1	3	0				13	425	102.7		0.8519	v
264	甲基正丁酯 $C_5H_{10}O_2$				3	2	0	2,3	1.7	8.0	18	222	107	30^{25}	0.911	δ
265	乙酸异丙酯 $C_5H_{10}O_2$	(950)		刺激	1	3	0	2,3	1.8	7.8	2	460	93	73^{25}	0.8732	s
266	丁酸甲酯 $C_5H_{10}O_2$					3	0	2,3			14		102.3	40^{30}	0.8982	δ
267	乙酸丙酯 $C_5H_{10}O_2$	300(840)		麻醉	1	3	0		2.0	8	12	450	101.6	35^{25}	0.8884_{20}^{20}	δ
268	碳酸二乙酯 $C_5H_{10}O_3$	(70)				3	1	2,3					126		0.9752	i
269	乳酸乙酯 $C_5H_{10}O_3$				2	2	0	1,3			46	400		5^{30}	1.0415	s
270	甲氧基乙醇乙酸酯 $C_5H_{10}O_3$	(120)皮		慢性中毒				1,3	1.5	12.3	45	394	144.5	2.0～3.7^{20}	1.0090	s

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg \cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg \cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
271	溴戊烷 $C_5H_{11}Br$				1	3	0				32		129.6		1.2177	i
272	1-氯戊烷 $C_5H_{11}Cl$				1	3	0		1.6	8.6	13	232	108.2		0.8828	i
273	哌啶 $C_5H_{11}N$				2	3	3				16		1060	$40^{29.2}$	0.8606_4^{20}	∞
274	新戊烷 C_5H_{12}			单纯窒息和麻醉性		4	0	4	1.4	7.5	<−6.7	450	9.45	606^{31}	0.6135	i
275	戊烷 C_5H_{12}	(1500)		麻醉	1	4	0	2,3,4	1.4	8.0	−40	260	36.074	500^{24}	0.6262_4^{20}	v
276	2-戊醇 $C_5H_{12}O$	(360)	(1.5)	麻醉	1	2	0	2,3	1.2	9.0	39	347	118～119.5		0.8103	v
277	3-戊醇 $C_5H_{12}O$	(360)		麻醉	1	2	0		1.2	9.0	41		115.5	2^{20}	0.8154	δ
278	叔戊醇 $C_5H_{12}O$	(360)		麻醉					1.2	9.0	19	437			0.809	
279	2,2-二甲氧基丙烷 $C_5H_{12}O_2$			引起窒息							−7		80	$100^{26.1}$	0.850_{20}^{20}	s
280	1-戊醇 $C_5H_{12}O$	100(360)	(1.5)	麻醉	1	3	0		1.2	10.0	33	300	137.8		0.8110	i
281	1,5-戊二醇 $C_5H_{12}O_2$				1	1	0				129		260		0.9939_4^{25}	s
282	戊胺 $C_5H_{13}N$				3	3	0				7.2		103		0.7164	
283	五氯酚 C_6HCl_5O	0.3(0.5)皮	(0.3)	刺痛发疹,慢性中毒									309～310	0.00011^{20}	1.978	δ
284	二硝基氯苯 $C_6H_3ClN_2O_4$	1	0.5,(0.5)	皮肤呼吸道过敏	3	1	4	1,3	2.0	22	194	432	315		1.4982	i,s^h
285	1,2,4-三氯代苯 $C_6H_3Cl_3$		0.02		2	1	0	1,2,3			99		213.5		1.4542	i
286	三硝基苯 $C_6H_3(NO_2)_3$	1	(0.4)	刺激呼吸道	2	4	4		强爆炸				61			δ
287	苦味酸 $C_6H_3N_3O_7$	(0.1)皮	0.5(0.5)	刺激、中毒	2	4	4	1	易爆炸			<300	(122.3)			δ,s^h
288	1-氯-2-硝基苯 $C_6H_4ClNO_2$				3	1	1	1,3			127		242		1.9279^{22}	i
289	1-氯-3-硝基苯 $C_6H_4ClNO_2$				3	1	1				127					

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
290	1-氯-4-硝基苯 $C_6H_4ClNO_2$	(1)皮	0.05(0.05)								127		246		1.368	i
291	邻二氯苯 $C_6H_4Cl_2$	(300)	0.02,(0.002)	慢性中毒	2	2	0	1,2,3	2.2	9.2	66	648	179	1.56^{35}	1.3048	i
292	对二氯苯 $C_6H_4Cl_2$	(450)	0.02	中毒	2	2	0	1,2,3			66		174		1.533	i
293	间二硝基苯 $C_6H_4N_2O_4$	(1)皮	0.5,(0.5)	蒸汽很毒					震动和火焰有爆炸危险		150		291		1.575^{18}_{4}	i
294	邻二硝基苯 $C_6H_4N_2O_4$	(1)皮		蒸汽很毒	3	1	4	1,3			150		319		1.3119	δ
295	对二硝基苯 $C_6H_4N_2O_4$	(1)皮		蒸汽很毒							150		299		1.625	i
296	2,4-二硝基苯酚 $C_6H_4N_2O_5$		(0.06)	被皮肤很快吸收,致使肝肾受到慢性毒害,超过0.2mg·m^{-3}					干燥时有着火危险				(114)		1.681	s
297	对苯醌 $C_6H_4O_2$	(0.4)	(0.20)									560	升华	高	1.318	δ
298	溴代苯 C_6H_5Br			皮肤刺激	2	2	0	1,2,3			51.1	566	155～156		1.5219^{0}_{4}	i
299	氯代苯 C_6H_5Cl	50(350)	0.02(0.02)	慢性中毒	2	3	0	2,3	1.3	7.1	29	638	132	12^{35}	1.1064	i
300	2,4-二硝基苯胺 $C_6H_5N_3O_4$		(0.05)	刺激皮肤粘膜,吸入很毒	3	1	3	1,3			244		(187.5～188)		1.615	i
301	硝基苯 $C_6H_5NO_2$	5(5)	(0.2)		3	2	0	1,2,3	1.8		88	482	210.8		1.2037	δ
302	苯 C_6H_6	40(80)	2.5(0.5)	慢性中毒	2	3	0	2,3	1.4	8.0	−17	562	80.1	100^{26}	0.8787	δ
303	高丙体六六六 $C_6H_6Cl_6$	0.05(0.5)	0.02(0.02)	慢性中毒									288	0.3^{20}	1.87^{20}	i
304	间硝基苯胺 $C_6H_6N_2O_2$			有毒,毒性比对硝基苯胺低	3	1	1						234		1.442^{40}	δ
305	邻硝基苯胺 $C_6H_6N_2O_2$			有毒	3	1	1				168	521	305～307		1.1747^{10}	δ
306	对硝基苯胺 $C_6H_6N_2O_2$	(6)皮		易由皮肤快速吸收	3	1	1	1,3	燃烧形成有毒蒸气粉末爆炸		199		210^{10}		1.437^{40}	i,$δ^{h}$

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	$\theta/°C$	$\theta/°C$	$\theta/°C$	133.32Pa		
307	苯酚 C_6H_6O	5(19)	0.01 (0.001)	中毒	3	2	0	1,3			79	715	182	0.3513	1.0722	s,∞^{h}
308	氢醌 $C_6H_6O_2$	(2)	(0.2)	中毒				1,3			165	516	285	4^{150}	1.328	s,v^h
309	乙酸乙烯酯 $C_6H_6O_2$				2	3	2	2,3	2.6	13.4	8	427	72～73	$115^{25.3}$	1.3941	i
310	焦棓酸 $C_6H_6O_3$			有毒，过敏									d293		1.453	
311	2-甲基吡啶 C_6H_7N		(0.4)		2	2	0	3			39	538	128.8		0.9497	v
312	苯胺 C_6H_7N	5(19)皮	(0.1)	慢性中毒	3	2	0	1,2,3	1.3		70	617	184.3	15^{77}	1.0216	s,∞^{h}
313	邻氨基酚 C_6H_7NO		(0.01)	过敏									升华			δ
314	对苯二胺 $C_6H_8N_2$	(0.1)皮	(0.1)	刺激									276			s^h
315	苯肼 $C_6H_8N_2$	(22)皮	(0.01)	眼灼伤，皮肤呼吸道过敏	3	2	0	1,3			89		174	243	1.099_4^{20}	s^h
316	富马酸二甲酯 $C_6H_8O_4$			眼接触危险									(241)			δ,s^h
317	环己烯 C_6H_{10}	100(1050)	(0.02)	麻醉	1	3	0				<7		83		0.8110_4^{20}	i
318	环己酮 $C_6H_{10}O$	50(200)	(0.2)	麻醉	1	2	0	1,3			44	420	156	4.5^{25}	0.9987_4^{20}	δ
319	异丙叉丙酮 $C_6H_{10}O$	(100)		麻醉	3	3	0	3	可燃		31	344	130～131	9.5^{25}	0.8578	s
320	1-丙烯氧基-2,3-环氧丙烷 $C_6H_{10}O_2$	(45)		对眼睛有猛烈刺激							57		154	4.7(25)	0.9698	
321	巴豆酸乙酯 $C_6H_{10}O_2$				2	3	0				2		143～147		0.9183_4^{20}	i
322	二环氧甘油醚 $C_6H_{10}O_3$	(2.8)		皮肤呼吸道过敏、中毒									260	0.09^{25}	1.262	
323	乙酰乙酸乙酯 $C_6H_{10}O_3$				2	2	0	1,3			84		181	0.8^{20}	1.03	s
324	丙酸酐 $C_6H_{10}O_3$				2	2	1				59	316	(190～191)	1^{20}	1.010～1.015_{20}^{20}	d
325	环己烷 C_6H_{12}	(1050)	(0.1)	麻醉	1	3	0	2,3	1.8	8	−20	260	81	103.60^{26}	0.7791_4^{20}	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	$\theta/℃$	$\theta/℃$	$\theta/℃$	133.32Pa		
326	乙烯基丁基醚 $C_6H_{12}O$				2	3	2				−9		93.8	42^{20}	0.7742	i
327	环己醇 $C_6H_{12}O$	50(200)	(0.5)	麻醉	1	2	0	1,2,3			68	300	161.1	3.5^{34}	0.9624_4^{20}	s
328	乙酸丁酯 $C_6H_{12}O_2$	300(710)	(0.1)	刺激、麻醉	1	3	0	2,3	1.4	7.6	27	399	127	15^{25}	0.883	δ
329	乙酸仲丁酯 $C_6H_{12}O_2$	(950)		刺激、麻醉	1	3	0	2,3	1.7		31		112	24	0.8758	i
330	乙酸叔丁酯 $C_6H_{12}O_2$	(950)		刺激、麻醉									95		0.8620	
331	乙酸异丁酯 $C_6H_{12}O_2$	(700)		刺激	1	3	0	2,3	1.3	7.5	18	423	117.2	20^{25}	0.8747	δ
332	己酸 $C_6H_{12}O_2$				2	1	0				102		205	1^{72}	0.9262_4^{20}	δ
333	2-己酮 $C_6H_{12}O_2$	(410)		刺激	2	3	0		1.2	8	35	533	126	3.8^{25}	0.8116	δ
334	双丙酮醇 $C_6H_{12}O_2$	(240)		刺激、中毒	1	2	0		1.8	6.9	64	603		0.97^{20}	0.9306	∞
335	缩水甘油异丙醚 $C_6H_{12}O_2$	(240)		中毒									137	9.4^{25}	0.9186	s
336	乙酸-2-乙氧基乙酯 $C_6H_{12}O_3$	(540)皮		中毒					1.2	12.7	55	382	156.4		0.9749	v
337	三聚乙醛 $C_6H_{12}O_3$				2	3	1	1,3			36	238	128.0		0.9923	v,s[h]
338	环己胺 $C_6H_{13}N$				2	3	0	3			5	293	134.5		0.8668_4^{20}	s
339	*N*-乙基吗啉 $C_6H_{13}NO$	(94)皮		中毒刺激	2	3	0	1,2,3			32				0.9	δ
340	三乙氧基铝 $C_6H_{15}AlO_3$								正常贮存中能变质并引起危险							
341	2,2-二甲基丁烷 C_6H_{14}				1	3	0	3	1.2	7.0	−48	425	49.7		0.6742_4^{20}	i
342	己烷 C_6H_{14}	(1800)		在评价对健康危害时要考虑其中杂质	1	3	0	2,3	1.1	7.5	−30	261	68	$150^{21.8}$	0.6595_4^{20}	i
343	乙丁醚 $C_6H_{14}O$				2	3	0				4		92		0.7490	
344	异丙醚 $C_6H_{14}O$	(1050)		麻醉	2	3	1	2,3	1.4	21	−28	443	69	119.4^{20}	0.7024	δ

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/C	θ/C	θ/C	133.32Pa		
345	4-甲基-2-戊醇 $C_6H_{14}O$	(100)皮		麻醉中毒	2	2	0		1.0	5.5	41		130	352^{20}	0.8025	δ
346	4-甲基-2-戊酮 $C_6H_{14}O$				2	3	0		1.4	7.5	23	460	116.85	7.5^{25}	0.801_4^{20}	δ
347	乙缩醛 $C_6H_{14}O_2$				2	3	0	3	1.6	10.4	−20	230	102	$20^{19.5}$	0.821	δ
348	2-丁氧基乙醇 $C_6H_{14}O_2$	(240)皮		慢性中毒				1,3	1.1	12.7	61	238	171	0.88^{25}	0.9027	∞
349	二异丙胺 $C_6H_{15}N$	(20)皮		刺激	3	3	0	1,3			1			70^{20}	0.722^{22}	δ
350	己胺 $C_6H_{15}N$				2	3	0				29		128～130	6.5^{20}	0.763_4^{25}	δ
351	三乙胺 $C_6H_{15}N$	(100)	(2.0)	刺激	2	3	0	2,3	1.2	8.0	−6.7		89～90	$400^{51.5}$	0.7255_4^{20}	s,δ^h
352	二乙氨基乙醇 $C_6H_{15}NO$	(50)皮		刺激	3	2	0	1,3			60		163		0.884	∞
353	1,6-己二胺 $C_6H_{16}N_2$			皮肤过敏									·204			v
354	异氰酸苯酯 C_7H_5NO				在正常贮存下可能由变质而发生危险			在正常贮存下可能由变质而发生危险					165		1.095	d
355	三硝基甲苯 $C_7H_5N_3O_6$	1(1.5)皮	0.5(0.5)	中毒	2	4	4						240 爆炸	0.046^{82}	1.654	i
356	*N*-甲基-*N*,2,4,6-四硝基苯胺 $C_7H_5N_5O_8$	(1.5)皮		中毒									187 爆炸		1.57	i
357	苯酰氯 C_7H_5OCl				2	2	1	1,2,3			72		197.2		1.2105	d
358	二氯甲苯 $C_7H_6Cl_2$		(0.02)	慢性中毒									205.2		1.2557	i
359	2,4-二硝基甲苯 $C_7H_6N_2O_4$	(1.5)皮	(0.5)	中毒	3	1	3	1,3					(60)		1.321^{20}	i
360	2,6-二硝基甲苯 $C_7H_6N_2O_4$	(1.5)皮	(0.5)	中毒	3	1	3						(60)		1.2833	
361	4,6-二硝基邻甲苯酚 $C_7H_6N_2O_5$	(0.2)皮	(0.5)	很毒									(85)			i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa	相对密度	溶解度
362	苯甲醛 C_7H_6O				2	2	0	1,2,3			64	192	178.1	1^{26}	1.0415	δ
363	棓酸 $C_7H_6O_5$			皮肤刺激									(253d)		1.694_4^6	δ,v^h
364	2-氯甲苯 C_7H_7Cl	(5)		刺激、中毒	2	2	0		1.1		67	585	179.3		1.100	i,d^h
365	间硝基甲苯 $C_7H_7NO_2$	5(30)皮		中毒									232.6 (15)	1.0^{60}	1.1571_4^{20}	i
366	邻硝基甲苯 $C_7H_7NO_2$	5(30)皮	(0.05)	中毒									220.4 (2.9)	1.6^{50}	1.1629	i
367	对硝基甲苯 $C_7H_7NO_2$	5(30)皮		中毒		1	3	1,3			106		238.3 (51.7)	1.3^{65}	1.299	i
368	甲苯 C_7H_8	100(200)	(0.5)	中毒	2	3	0	2,3	1.2	7.1	4	536	110.6	$30^{26.04}$	0.8669_4^{20}	i
369	苄醇 C_7H_8O				2	1	0				101	436	205.35	0.15^{25}	1.0419	s
370	间甲苯酚 C_7H_8O	(22)皮	(0.004)	中毒	2	1	0	1,3			94	559	202.8	3.72^{25}	1.0336_4^{20}	δ,s^h
371	邻甲苯酚 C_7H_8O	(22)皮	(0.004)	中毒	2	2	0	1,2,3			81	599	191.2	3.72^{25}	1.0465_4^{20}	s
372	对甲苯酚 C_7H_8O	(22)皮	(0.004)	中毒	2	1	0	1,3			94	559	202	3.72^{25}	1.0347_4^{20}	δ,s^h
373	2-甲苯硫酚 C_7H_8S			刺激									9.4～9.5		1.058	i
374	*N*-甲苯胺 C_7H_9N	5(9)皮		中毒									196.25		0.989^{12}	i
375	间甲苯胺 C_7H_9N	5		慢性中毒							86	482	203.2	1^{44}	0.9916_{20}^{20}	i
376	邻甲苯胺 C_7H_9N	5		中毒	3	2	0	1,2,3			85	482	199.7	1^{44}	1.008_{20}^{20}	i
377	对甲苯胺 C_7H_9N	5		中毒	3	2	0	1,2,3			87	482	200.4	1^{42}	1.046_4^{20}	i
378	邻茴香胺 C_7H_9NO	(0.5)皮		慢性中毒									224		1.0923	δ
379	对茴香胺 C_7H_9NO	(0.5)皮		中毒									243		1.0605	s
380	环庚酮 $C_7H_{12}O$			中等毒性，抑制神经系统中枢									178.5～179.5		0.9508_4^{20}	δ
381	2-甲基环己酮 $C_7H_{12}O$	(160)皮		麻醉		2	0	1,2,3			48		165	165	0.9240	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
382	丙酸二乙酯 $C_7H_{12}O_4$				0	1	0	1,3			93		199	10^{81}	1.0550	δ
383	磷君(Phosdrin) $C_7H_{13}O_6P$	(0.1)皮		中毒							79		210	0.0029^{21}	1.23	∞
384	甲基环己烷 C_7H_{14}	(2000)		麻醉		3	0	2,3	1.2		−4	285	100.4	43^{25}	0.7695	i
385	2-庚酮 $C_7H_{14}O$	(465)		刺激	1	2	0				49	533	151	1.6^{25}	0.8111_4^{20}	v
386	3-庚酮 $C_7H_{14}O$	(230)		刺激	1	2	0				46		156	1.4^{25}	0.8183_4^{20}	i
387	2-甲基环己醇 $C_7H_{14}O$	(235)		刺激		2	0	1,2,3			296		167.2～167.6	1.5^{20}	0.9241_4^{20}	δ
388	缩甘油正丁基醚 $C_7H_{14}O_2$	(270)		皮肤呼吸道过敏									164	3.2^{25}	0.9087	δ
389	乙酸异戊酯 $C_7H_{14}O_2$	(525)		刺激				2,3		7.5	25	379	142	6^{25}	0.8670	δ
390	乙酸(正)戊酯 $C_7H_{14}O_2$	(525)	(0.08)	刺激	1	3	0		1.1	7.5	25	379	148.8	5^{25}	0.8756	δ
391	庚烷 C_7H_{16}	(2000)		麻醉	1	3	0	2,3	1.2	6.7	−4	223	98.42	150^{25}	0.6837	i
392	二丙撑乙二醇甲醚 $C_7H_{16}O_3$	(600)皮		中毒							85		189	0.36	0.951	∞
393	正庚胺 $C_7H_{17}N$				2	2	0				54		158.3		0.777_4^{20}	δ
394	苯二甲酸酐 $C_8H_4O_3$	(12)	(0.5)	皮肤呼吸道过敏	2	1	0	1,3	1.7	10.5	152	584	284.5 升华		1.527	δ
395	2,4,5-三氯苯氧基醋酸 $C_8H_5Cl_3O_3$	(25)		刺激眼睛									(157～158)			δ
396	二四滴(2,4-D) $C_8H_6Cl_2O_3$	(10)		中毒	2	2	0	1,2,3		5.6	47	436	177		0.8569	i
397	2-氯乙苯酰 C_8H_7ClO	(0.3)		刺激眼、鼻、喉									273		1.1922	i
398	苯乙烯 C_8H_8	40(420)	0.3(0.1)	刺激、麻醉	2	3	2	2,3	1.1	6.1	32	490	145～146	4.3^{15}	0.9090_4^{20}	i
399	2,4-滴硫钠(Crag I) $C_8H_7Cl_2NaO_5S$	(15)		中毒												s
400	皮蝇磷 $C_8H_8Cl_3O_2PS$	(140)	(0.4)	中毒												

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	$\theta/°C$	$\theta/°C$	$\theta/°C$	133.32Pa		
401	茴香醛 $C_8H_8O_2$				2	1	0				118		249.5	1^{23}	1.1192	i
402	苯酸甲酯 $C_8H_8O_2$				0	2	0				83		199.6		1.0937	i
403	醋酸苯酯 $C_8H_8O_2$				1	2	0	1,3			80		195.7		1.0927^{25}_{25}	δ
404	乙酰苯胺 C_8H_9NO			急性毒性很低				1,3			169	529	304		1.2105	δ^{h}
405	4-乙酰胺基联苯 $C_8H_9NO_2$			有致癌可能									(168)		1.293	s
406	乙苯 C_8H_{10}	(435)	(0.01)	中毒	2	3	0	2,3	1.0		15	432	136		0.8672	i
407	间二甲苯 C_8H_{10}	100(435)		刺激	2	3	0	2,3	1.1	7.0	29	528	139	$10^{28.2}$	0.8684^{0}_{4}	i
408	邻二甲苯 C_8H_{10}	100(435)		刺激	2	3	0	2,3	1.1	6.0	32	464	144	$10^{32.1}$	0.8968^{20}_{4}	i
409	对二甲苯 C_8H_{10}	100(435)		刺激	2	3	0	2,3	1.1	7.0	27	529	13.8	$10^{27.3}$	0.8566^{28}_{4}	i
410	异丁酸甲酯 $C_8H_{10}O_3$			皮肤过敏									(27~28)		1.230	
411	*N*,*N*-二甲苯胺 $C_8H_{11}N$	(25)皮		分解形成有毒烟雾	3	2	0	1,2,3			63	371	194.15		0.9563	δ
412	*N*-乙替苯胺 $C_8H_{11}N$				3	2	0	1,2,3			85		204.72		0.9625^{20}_{4}	i
413	*N*,*N*-二甲苯胺 $C_8H_{11}N$	(25)皮		慢性中毒	3	1	0	1,2,3			97		192~193		0.9557	δ
414	四甲基琥珀腈 $C_8H_{12}N_2$	(3)皮		中毒									(109)		1.070	
415	氟磷酸二异丙酯 $C_8H_{14}FPO_3$			防止吸入和皮肤接触，是胆碱酯酶很强的阻化剂，受潮形成HF												
416	甲基丙烯酸丁酯 $C_8H_{14}O_2$				2	2	0				52		163		0.895	i
417	丁酸酐 $C_8H_{14}O_2$				3	2	1	3			77	307	195	0.3^{20}	0.969^{20}_{20}	d
418	Demetron $C_8H_{14}O_3PS_2$	(1)皮		中毒										0.001^{33}	1.1183	δ

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 mg·m⁻³	环境中最高容许浓度 地面水 mg·L⁻¹	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%) 上限	闪点 θ/℃	着火点 θ/℃	沸点(熔点) θ/℃	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
419	二异丙过二碳酸盐 $C_8H_{14}O_6$				0	4	4		12℃自动分解，对震动和热敏感				(8)			
420	2,4,4-三甲基-1-戊烯 C_8H_{16}					3	0				7		101.44		0.7150	i
421	2,4,4-三甲基-2-戊烯 C_8H_{16}					3	0				1.7		105			
422	5-甲基-3-庚酮 $C_8H_{16}O$	(130)		刺激							57		160.5	2.0^{25}	0.850	i
423	正辛烷 C_8H_{18}	(1900)		麻醉	0	3	0	2,3	1.0	4.66	13	220	125～126	10.45	0.7025	i
424	乙酸异丁酯 $C_8H_{16}O_2$	(295)		刺激	1	2	0	3			45		141	3.8^{20}	0.855	δ
425	2,2,4-三甲戊烷 C_8H_{18}			皮肤刺激		3	0	3	1.1	6.0	−12	18	99.2		0.6918^{20}_{4}	i
426	丁醚 $C_8H_{18}O$				2	3	0	3	1.5	7.6	25	194	141	4.8^{20}	0.769	δ
427	铬酸叔丁酯 $C_8H_{18}O_4Cr$	(0.1)皮(以 CrO_3 计)		中毒												
428	二丁基二氯化锡 $(C_4H_9)_2 \cdot SnCl_2$			眼、皮肤刺激											1.36	d
429	二丁胺 $C_8H_{19}N$				3	2	0	1,2,3			52		159	1.9^{20}	0.501	s
430	磷酸二丁酯 $C_8H_{19}O_4P$	(5)		中毒												
431	硫普特 $(C_2H_5O)_4P_2OS_2$	(0.2)皮		中毒											1.196	i
432	焦磷酸四乙酯 $C_8H_{20}P_2O_5$	(0.05)		中毒										挥发	1.1847	i
433	四乙基铅 $C_8H_{20}Pb$	0.005	不得检出	中毒	3	2	3				93		d 200		1.659	i
434	四亚乙基五胺 $C_8H_{23}N_5$			皮肤呼吸道过敏	2	1	0	1,3			163			$<0.01^{20}$	0.998	∞
435	2,4-二异氰酸甲苯酯 $C_9H_6N_2O_2$	(0.14)		刺激，引起过敏、中毒	2	1	2				135		250	180	1.21	i
436	8-羟基喹啉 C_9H_7NO			可能致癌									276(76)			

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$		闪点 $\theta/℃$	着火点 $\theta/℃$	沸点(熔点) $\theta/℃$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 $mg \cdot m^{-3}$	地面水 $mg \cdot L^{-1}$		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限						
437	肉桂醛 C_9H_8O			有毒							10				1.048^{20}_{4}	δ
438	2-甲基苯乙烯 C_9H_{10}	(480)		刺激	1	2	1		1.9	6.1	54	574	167～170		$0.9139^{17.4}_{4}$	i
439	间对甲基苯乙烯 C_9H_{10}	(480)		该化合物系甲基苯乙烯的间位、对位异构体刺激							60		170～171		0.890	δ
440	乙酸苯酯 $C_9H_{10}O_2$				1	1	0				102	461	213.5	1.960	1.057^{16}	δ
441	1,4-二噁烷 $C_9H_{10}O_2$	(62)		中毒									245	0.01^{20}	1.1092	δ
442	异丙苯 C_9H_{12}	(245)皮	0.25	麻醉、中毒	0	2	0	2,3	0.88	6.50	44	424	152～153	$10^{39.3}$	0.0864^{20}_{4}	i
443	丙苯 C_9H_{12}		(0.2)			3	0				30		159.2		0.8620^{20}_{4}	i
444	2,2-二甲苄氢过氧化物 $C_9H_{12}O_2$			有毒,皮肤过敏	1	2	4		蒸气与空气形成爆炸混合物		79	221	153		1.048	
445	异佛尔酮 $C_9H_{14}O$	(140)		慢性中毒、刺激	2	1	0	1,3	0.8	3.8	96	462	215.2	0.44^{25}	0.9229	δ
446	二甲氨基二硫代甲酸铁 $C_9H_{18}FeN_3S_6$	(15)														
447	六氯萘 $C_{10}H_2Cl_6$	1(0.2)皮		中毒												
448	五氯萘 $C_{10}H_3Cl_5$	1(0.5)皮		刺痛发疹 慢性中毒												
449	三氯萘 $C_{10}H_5Cl_3$	1(0.5)皮		中毒												
450	七氯 $C_{10}H_5Cl_7$	1(0.5)皮		中毒									(95～96)		1.57—1.59^{9}	i
451	氯丹 $C_{10}H_6Cl_8$	1(0.5)皮		慢性中毒												
452	氯代莰烯 $C_{10}H_6Cl_8$	(0.5)皮														
453	2-硝基萘 $C_{10}H_7NO_2$				1	1	0	1,3			164		304		1.332	i
454	萘 $C_{10}H_8$	100(50)	(0.05)	中毒	2	2	0	1,3	0.9	5.9	79	526	210.8	0.082	1.1452^{25}	i
455	八氯萘 $C_{10}Cl_8$	1(0.1)皮		中毒									(185)		2.00	
456	1-萘胺 $C_{10}H_9N$				2	1	0	1,3			157	300.8升华			1.123^{25}_{25}	δ

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
457	2-萘胺 $C_{10}H_9N$			致癌物质												
458	酞酸二甲酯 $C_{10}H_{10}O_4$	(5)		刺激眼和粘膜、麻醉							157	518	282～285		1.1905	
459	乙酰乙酰替苯胺 $C_{10}H_{11}NO_2$				2	1	0				185		85			δ
460	双茂 $C_{10}H_{12}$				1	3	1				32		170	$10^{47.6}$	0.9302	i
461	四氢萘 $C_{10}H_{12}$	100			1	2	0	1,2,3			71	384	207.3		0.9729	i
462	谷硫磷 $C_{10}H_{12}N_3O_3PS$	(0.2)皮		中毒												
463	乙替乙酰替苯胺 $C_{10}H_{13}NO$				0	2	0	1,2,3			52				0.942	i
464	对异丙基苯甲烷 $C_{10}H_{14}$				2	2	0	1,2,3		5.6	47	436	177		0.8569_4^{20}	i
465	双硫磷 $C_{10}H_{14}NO_5PS$	0.05 (0.1)皮	0.02 (0.05)	中毒	4	1	0						357	0.00003^{24}	1.26	i
466	烟碱 $C_{10}H_{14}N_2$	(0.5)皮		中毒	4	1	0	3	0.7	4.0		244	247.3	$1^{61.8}$	1.010_4^{20}	s
467	乙酸另戊酯 $C_{10}H_{14}O_2$	(650)		中毒	1	3	0	2,3	1.12	7.5	25		121	9^{25}	0.862	δ
468	二乙苯胺 $C_{10}H_{15}N$				3	2	0	1,3			85	332	216.27		0.93507	δ
469	樟脑 $C_{10}H_{16}O$	(2)		中毒	2	2	0	1,2,3			66	466	209		0.999_4^{20}	δ
470	萜二烯-1,8 $C_{10}H_{16}$					2	0				45	237			3.8402	i
471	2-蒎烯 $C_{10}H_{16}$			刺激眼、鼻、喉，可引起皮肤斑疹	1	3	0	2,3			39		156.2		0.8582	δ
472	十氢萘 $C_{10}H_{18}$				2	2	0	1,2,3	0.7	4.9	58	250	185.5	$10^{47.2}$	0.8700_4^{20}	i
473	莰醇-2 $C_{10}H_{18}O$				2	2	0	1,3			66		(210)升华		1.011_4^{20}	i
474	马拉硫磷 $C_{10}H_{19}O_6PS_2$	2(15)皮	0.25 (0.05)	中毒										4×10^{-5} (30℃)	1.23_4^{25}	δ
475	正癸烷 $C_{10}H_{22}$				0	2	0	2,3	0.8	5.4	46	208	174.1		0.7300_4^{20}	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点(熔点)	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m⁻³	地面水 mg·L⁻¹		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
476	正戊醚 $C_{10}H_{22}O$				1	2	0	1,3			57	171	190		0.744	i
477	异硫氰酸 α-萘酯 $C_{11}H_7NS$			通过皮肤吸收可引起皮炎、寒栗、发热、肾脏损害												
478	1-甲基萘 $C_{11}H_{10}$				2	2	0	3	对光敏感			528	240～243		1.0287^{19}	i
479	α-萘硫脲(安妥) $C_{11}H_{10}N_2S$	(0.3)		中毒									(198)			
480	过苯甲酸叔丁酯 $C_{11}H_{14}O_3$				1	3	4	3	可燃,对热敏感		88	113 自己促进分解	113		1.035	d
481	对叔丁基甲苯 $C_{11}H_{16}$	(60)		中毒									193	0.65^{25}	0.8534	i
482	三氯联苯(42%Cl) $C_{12}H_7Cl_3$	(1)皮		慢性中毒,刺痛发疹							176—180			30^{200}	1.378～1.388	i
483	五氯联苯(54%Cl) $C_{12}H_5Cl_5$	(0.5)皮		慢性中毒,刺痛发疹										9^{200}	1.538～1.548	i
484	艾氏剂 $C_{12}H_8Cl_6$	(0.25)皮	(0.002)	中毒									(104)			i
485	狄氏剂 $C_{12}H_8Cl_6O$	(0.1)皮		中毒									(175～176)		1.75	i
486	异狄氏剂 $C_{12}H_8Cl_6O$	(0.1)皮		中毒									(200)			i
487	对溴联苯 $C_{12}H_9Br$				2	1	0				144		310		0.9327	i
488	联苯 $C_{12}H_{10}$	7(1)		刺激	2	1	0	1,2,3	0.6	5.8	113	540	255.9		1.9869	i
489	苯醚 $C_{12}H_{10}O$	(7)		刺激							96	646	258.9	0.0213^{25}	1.0863	i
490	2-氨基联苯 $C_{12}H_{11}N$				2	1	0						299			i
491	二苯胺 $C_{12}H_{11}N$	(10)	(0.05)		3	1	0	1,3			153	634	302		1.160	i
492	西维因(Sevin) $C_{12}H_{11}NO_2$	(5)	(0.1)	中毒												
493	联苯胺 $C_{12}H_{12}N_2$			对人的膀胱肿瘤有影响,任何暴露包括皮肤都极危险												

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度 空气 $mg\cdot m^{-3}$	环境中最高容许浓度 地面水 $mg\cdot L^{-1}$	浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级 危害健康	化学危险性等级 可燃性	化学危险性等级 化学稳定性	灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 下限	在空气中燃烧的极限值体积分数 $\varphi/(\%)$ 上限	闪点 $\theta/℃$	着火点 $\theta/℃$	沸点（熔点）$\theta/℃$	蒸气压 133.32Pa	密度或相对密度	在水中的溶解度
494	邻苯二酸二乙酯 $C_{12}H_{14}O_4$				0	1	0	1,2,3			117		296	0.05(70)	1.2321_{4}^{14}	i
495	环己基苯 $C_{12}H_{16}$				2	1	0				99		238.9		0.9502	i
496	三丁胺 $C_{12}H_{27}N$				2	2	0	1,2,3			86		216～217	20^{100}	0.7782_{20}^{20}	δ
497	磷酸三丁酯 $C_{12}H_{27}O_4P$	(5)	(0.01)	刺激	2	1	0	1,2,3			146		289		0.9727	s
498	吖啶 $C_{13}H_{11}N$			刺激眼、鼻、喉									345～346		1.005	δ^h
499	二苯基甲烷 $C_{13}H_{12}$				1	1	0	1,2,3			130	486	265.6		1.006	i
500	DDT $C_{14}H_9Cl_5$	0.3 (1.6)皮	0.2 (0.1)	可能使人致癌，中毒									(108.5)		1.55	i
501	菲 $C_{14}H_{10}$		(0.4)	纯品不致癌				1,2,3					340		1.182	i
502	过氧化苯甲酰 $C_{14}H_{10}O_4$	(5)		刺激眼、鼻、喉，中毒	1	4	4	1,2,3	分解蒸气可燃，对热和震动敏感				(103.5)			δ
503	2-叔戊酰茚满二酮-1,3 $C_{14}H_{13}O_3$	(0.1)		中毒												
504	伊皮恩 $C_{14}H_{14}O_4NPS$	(0.5)皮		中毒									(36)	3×10^{-4} (100℃)	1.5978	δ
505	亚甲基二对苯异氰酸酯 $C_{15}H_{10}N_2O_2$	(0.2)														
506	苯基萘胺 $C_{16}H_{13}N$			皮肤呼吸道过敏												
507	甲氧氯 $C_{16}H_{15}Cl_3O_2$			中毒												i
508	邻苯二甲酸二丁酯 $C_{16}H_{22}O_4$	(5)		刺激	0	1	0	1,2,3			157	403	(94) 340	2^{150}	1.043	s i
509	间联三苯 $C_{18}H_{14}$	1,(9.4)		刺激		1	0	1,3			135		365			i
510	邻联三苯 $C_{18}H_{14}$	1(9.4)		刺激		1	0	1,3			163		32			i
511	对联三苯 $C_{18}H_{14}$	1(9.4)		刺激												
512	磷酸三苯酯 $C_{18}H_{15}O_4P$	(3)		中毒	2	1	0	1,3			200				1.2055	i

续表

顺序号	化学名称和化学式	环境中最高容许浓度		浓的短期暴露对健康的相对危害	化学危险性等级			灭火剂	在空气中燃烧的极限值体积分数 φ/(%)		闪点	着火点	沸点（熔点）	蒸气压	密度或相对密度	在水中的溶解度
		空气 mg·m^{-3}	地面水 mg·L^{-1}		危害健康	可燃性	化学稳定性		下限	上限	θ/℃	θ/℃	θ/℃	133.32Pa		
513	杀鼠灵 $C_{19}H_{16}O_4$	(0.1)		中毒									(161)			i
514	马钱子碱 $C_{21}H_{22}N_2O_2$	(0.15)		中毒											1.36	δ
515	磷酸三邻甲苯酯 $C_{21}H_{21}O_4P$	(0.1)		能引起麻痹	2	1	0	1,2,3			225	385		10^{200}	1.247	δ
516	番木鳖碱 $C_{23}H_{26}N_2O_4$			中毒									(178)			δ
517	鱼藤酮 $C_{23}H_{22}O_4$	(5)		中毒												i
518	酞酸二甲酯 $C_{24}H_{39}O_4$	(5)		中毒	0	1	0	1,3			218	410	358	0.01^{20}	0.936	i

二、化学物质环境标准

我国颁布的环境标准（1992年底止）中有关化学物质内容部分如表7-3所示。

表7-3 我国关于化学物质的环境标准

（1）环境质量标准

序号	编号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
1	GB3095—82	大气环境质量标准	04/06/82	08/01/82
2	GB3097—82	海水水质标准	04/06/82	08/01/82
3	GB3838—88	地面水环境质量标准	04/05/88	06/01/88
4	GB9137—88	保护农作物的大气污染物最高允许浓度	05/25/88	10/01/88
5	GB11607—89	渔业水质标准	08/20/89	03/01/90
6	GB12941—91	景观娱乐用水水质标准	06/16/91	02/01/92
7	GB5084—92	农田灌溉水质标准	04/01/92	10/01/92

（2）污染物排放标准

序号	编号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
1	GBJ4—73	工业“三废”排放试行标准	11/17/73	01/01/74
2	GB1495—79	机动车辆允许噪声标准	02/23/79	02/23/79
3	GBJ48—83	医院污水综合排放标准	01/03/83	01/03/83
4	GB3545—83	甜菜制糖工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
5	GB3546—83	甘蔗制糖工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
6	GB3547—83	合成脂肪酸工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
7	GB3548—83	合成洗涤剂工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
8	GB3549—83	制革工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
9	GB3550—83	石油开发工业水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
10	GB3551—83	石油炼制工业污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
11	GB3552—83	船舶污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
12	GB3553—83	电影洗片水污染物排放标准	04/09/83	10/01/83
13	GB3842—83	汽油车怠速污染物排放标准	09/14/83	04/01/84
14	GB3843—83	柴油车自由加速烟度排放标准	09/14/83	04/01/81
15	GB3844—83	汽油柴油机全负荷烟度排放标准	09/14/83	04/01/83
16	GB4274—84	梯恩梯工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
17	GB4275—84	黑索金工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
18	GB4276—84	火炸药工业硫酸浓缩污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
19	GB4277—84	雷汞工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
20	GB4278—84	二硝基重氮酚工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
21	GB4279—84	叠氮化铅、三硝基间苯二酚铅、D. S 共晶工业水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
22	GB4280—84	铬盐工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
23	GB4281—84	石油化工水污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
24	GB4282—84	硫酸工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
25	GB4283—84	黄磷工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85
26	GB4286—84	船舶工业污染物排放标准	05/18/84	03/01/85

续表

序号	编号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
27	GB4911—85	钢铁工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
28	GB4912—85	轻金属工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
29	GB4913—85	重有色金属工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
30	GB4914—85	海洋石油开发工业含油污水排放标准	01/18/85	08/01/85
31	GB4915—85	水泥工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
32	GB4916—85	沥青工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
33	GB4917—85	普钙工业污染物排放标准	01/18/85	08/01/85
34	GB5085—85	有色金属工业固体废物污染物排放标准	04/25/85	10/01/85
35	GB5469—85	铁路货车洗刷废水排放标准	10/04/85	02/01/86
36	GB8978—88	污水综合排放标准	04/05/88	01/01/89
37	GB9078—88	工业炉窑烟尘排放标准	05/04/88	06/01/88
38	GB11641—89	轻型汽车排气污染物排放标准	08/17/89	01/01/90
39	GB12502—90	含氰废物污染物控制标准	10/16/90	07/01/91
40	GB13015—91	含多氯联苯污染物控制标准	06/27/91	03/01/93
41	GB13223—91	燃煤电厂大气污染物排放标准	10/29/91	01/08/92
42	GB13271—91	锅炉大气污染物排放标准	09/14/91	01/08/92
43	GB4287—92	纺织染整工业水污染物排放标准	07/05/92	07/01/92
44	GB3544—92	造纸工业水污染排放标准	05/07/92	07/01/92
45	GB13456—92	钢铁工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92
46	GB13257—92	肉类加工工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92
47	GB13258—92	合成氨工业水污染物排放标准	05/07/92	07/01/92

三、化学致癌物质

人类环境中大量化学物质的存在与人类癌症有密切关系。世界卫生组织（WHO）国际癌症研究中心(IARC)自1971年开始实施化学物质对人类致癌危险性的评价。至1978年底，编辑出版了《IARC关于化学物质对人类致癌危险性的专题论文集》1—20卷，总共对420种化学物质、化学物质组团和工艺过程作了评价。评价认为有142种从实验动物获得了充分的致癌性证据（见表7-4)。对已发表过病例报告或流行病学研究资料的60种化学物质进行了进一步评价，根据有关资料和证据的充分程度，评价认为其中有18种对人类具有肯定的致癌性（表7-5)，另18种可能对人类具有致癌性（表7-6)，其余24种尚缺乏足够资料，就其对人类的致癌性作出评价（表7-7)。化学致癌物质对人体作用的靶器官如表7-8所示。

表7-4 对实验动物具有充分致癌性证据的化学物质[①]

序号	化 合 物	序号	化 合 物
1	丙烯腈*	9	石棉*
2	放线菌素类	10	氮杂丝氨酸
3	黄曲霉毒素类*	11	苯并[*a*]蒽
4	邻氨基偶氮甲苯	12	联苯胺*
5	4-氨基联苯*	13	苯并[*b*]荧蒽
6	2-氨基-5-(5-硝基-2-呋喃基)-1,3,4-噻二唑	14	苯并[*a*]芘
7	阿米脱(氨基三唑)*	15	苄基紫4B
8	杀螨特	16	铍*

续表

序号	化合物	序号	化合物
17	氧化铍	65	乙炔基雌二醇
18	磷酸铍	66	二溴化乙烯
19	硫酸铍	67	乙烯硫脲
20	双氯甲醚*	68	甲烷磺酸乙酯
21	β-丁内酯	69	2-（2-甲酰基肼基）-4-（5-硝基-2-呋喃基）噻唑
22	镉*	70	缩水甘油醛
23	氯化镉	71	六氯化苯
24	氧化镉	72	六甲磷酰胺
25	硫酸镉	73	肼
26	硫化镉	74	茚并〔1，2，3-*cd*〕芘
27	铬酸钙	75	葡聚糖铁*
28	四氯化碳*	76	异黄樟素
29	苯丁酸氮芥*	77	向阳紫草碱
30	十氯酮（开蓬）	78	醋酸铅
31	氯仿	79	磷酸铅
32	铬*	80	碱式醋酸铅
33	柠檬红 2 号	81	左旋苯丙氨酸氮芥（米尔法兰）*
34	苏铁素	82	消旋苯丙氨酸氮芥（溶肉瘤素）
35	环磷酰胺*	83	甲乙雌醇醚（乙烯基雌二醇甲基醚）
36	柔红霉素	84	2-甲基氮丙啶
37	*N*，*N'*-二乙酰联苯胺	85	甲基氧化偶氮基甲醇醋酸酯
38	4，4'-二氨基二苯基醚	86	4，4'-甲叉双（2-氯苯胺）
39	2，4'-二氨基甲苯	87	4，4'-甲叉双（2-甲苯胺）
40	二苯并〔*a*，*h*〕吖啶	88	亚磺酸甲酯
41	二苯并〔*a*，*j*〕吖啶	89	甲基磺酸甲酯
42	二苯并〔*a*，*h*〕蒽	90	*N*-甲基-*N'*-硝基-*N*-亚硝基胍
43	7H-二苯并〔*c*，*g*〕咔唑	91	甲基硫尿嘧啶
44	二苯并〔*a*，*e*〕芘	92	灭蚁灵（十二氯五环癸烷）
45	二苯并〔*a*，*h*〕芘	93	丝裂霉素 C
46	二苯并〔*a*，*i*〕芘	94	野百合碱
47	1，2-二溴-3-氯丙烷	95	5-（吗啉甲基）-3-〔（5-硝基-糠叉)-氨基〕-2-噁唑烷酮
48	3，3'-二氯联苯胺*	96	2-萘胺*
49	3，3'-二氯-4，4'-二氨基二苯基醚	97	镍*
50	1，2-二氯乙烷	98	碱式硫化镍
51	二环氧丁烷	99	硝基噻咪唑
52	1，2-二乙基肼	100	5-硝基苊
53	己烯雌酚*	101	1-〔（5-硝基糠叉）氨基〕-2-咪唑烷酮
54	硫酸二乙酯	102	*N*-〔4-（5-硝基-2-呋喃基）-2-噻唑基〕乙酰胺
55	二氢黄樟素	103	氮芥及其盐酸盐
56	3，3'-二甲氧联苯胺〔邻联（二）茴香胺〕	104	*N*-氧化氮芥及其盐酸盐
57	对二甲胺基偶氮苯	105	*N*-亚硝基二正丁胺
58	反-2〔（二甲基胺基）甲基亚氨基〕-5-〔2-（5-硝基-2-呋喃基）乙烯基〕-1，3，4-噁二唑	106	*N*-亚硝基二乙醇胺
59	3，3-二甲基联苯胺（邻联甲苯胺）	107	*N*-亚硝基二乙胺
60	二甲基氨基甲酰氯*	108	*N*-亚硝基二甲胺
61	1，1-二甲基肼	109	*N*-亚硝基二正丙胺
62	1，2-二甲基肼	110	*N*-亚硝基-*N*-乙基脲
63	硫酸二甲酯*	111	*N*-亚硝基甲基乙胺
64	1，4-二噁烷	112	*N*-亚硝基-*N*-甲基脲

续表

序号	化　合　物	序号	化　合　物
113	*N*-亚硝基-*N*-甲基尿烷	128	丙基硫尿嘧啶
114	*N*-亚硝基甲基乙烯胺	129	黄樟素
115	*N*-亚硝基吗啉	130	烟炱、焦油和矿物油类*
116	*N*-亚硝基去甲尼古丁	131	小梗囊胞菌素
117	*N*-亚硝基哌啶	132	链脲霉素
118	*N*-亚硝基吡咯烷	133	睾丸酮
119	*N*-亚硝基肌氨酸	134	硫代乙酰胺
120	雌二醇-17β	135	硫脲
121	雌酮	136	毒杀芬
122	油橙 SS	137	三乙烯硫代磷酰胺（噻替哌）*
123	多氯联苯类*	138	三（2，3-二溴丙基）磷酸盐
124	丽春红 MX	139	锥虫蓝（商品级）
125	丽春红 3R	140	尿嘧啶氮芥
126	1，3-丙烷萘迫磺内酯	141	尿烷（氨基甲酸乙酯）
127	β-丙内酯	142	氯乙烯*

① 表中带“*”号的表示该物质已有关于人类癌症的资料。

表 7-5　对人类致癌的化学物质或工业生产过程

序号	化学物质①或工业生产过程	序号	化学物质或工业生产过程
1	4-氨基联苯	10	己烯雌酚
2	砷和某些砷化合物	11	地下赤铁矿采矿过程*
3	石棉	12	异丙醇制造过程(强酸法)*
4	金胺制造过程*	13	米尔法兰(左旋苯丙氨酸氮芥)
5	苯	14	芥子气
6	联苯胺	15	2-萘胺
7	*N*,*N*-双(2-氯乙基)-2-萘胺(氯萘吖嗪)	16	镍的精炼过程*
8	双氯甲醚和工业品级氯甲甲醚	17	烟炱、焦油和矿物油类*
9	铬和某些铬化合物*	18	氯乙烯

① 表中带“*”的为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-6　对人类可能致癌的化学物质

序号	化　学　物　质①	序号	化　学　物　质
1	黄曲霉毒素类	10	铍和某些铍化合物*
2	镉和某些镉化合物*	11	四氯化碳
3	苯丁酸氮芥	12	二甲基氨基甲酰氯
4	环磷酰胺	13	硫酸二甲酯
5	镍和某些镍化合物*	14	环氧乙烷
6	三乙烯硫代磷酰胺(噻替哌)	15	右旋糖酐铁
7	丙烯腈	16	康复龙
8	阿米脱(氨基三唑)	17	非那西丁
9	金胺	18	多氯联苯类

① 表中带“*”的为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-7　对人类致癌性尚无足够证据可以进行评价的化学物质

序号	化学物质①	序号	化学物质
1	氯霉素	13	*N*-苯基-2-萘胺(防老剂丁)
2	氯丹和七氯	14	苯妥因
3	氯丁二烯	15	利血平
4	二氯二苯三氯乙烷(滴滴涕)	16	苯乙烯
5	狄氏剂(氧桥氯甲桥萘)	17	三氯乙烯
6	环氧氯丙烷(表氯醇)	18	三乙烯亚胺-对-苯醌(三胺醌)
7	赤铁矿[4]	19	邻和对二氯苯
8	六六六(六氯环己烷)(工业品级六六六和林丹)	20	二氯联苯胺
9	异烟肼	21	苯基丁氮酮
10	异丙基油类	22	2,3,7,8-四氯二苯-对-二噁英
11	铅和某些铅化合物*	23	邻和对甲苯胺
12	苯巴比妥	24	偏二氯乙烯(亚乙烯基氯)

① 表中带“*”的为尚不能确切指明可能对人类产生致癌作用的特定化合物。

表 7-8　化学致癌物质的靶器官部位

序号	靶器官部位	化学致癌物质①
1	咽部	铬和某些铬化合物、芥子气*
2	胃肠道	丙烯腈（结肠)、石棉*、氯丁二烯、环氧乙烷、铅和某些铅化合物、烟炱、焦油和矿物油类*、氯乙烯
3	肝脏	黄曲霉毒素类、砷和某些砷化合物、四氯化碳、康复龙、苯巴比妥、苯妥因、2，3，7，8-四氯二苯-对-二噁英、氯乙烯*（血管肉瘤)
4	腹膜-间皮瘤	石棉*
5	鼻及鼻窦	铬和某些铬化合物、异丙基油类、异丙醇制造过程*、芥子气、镍和某些镍化合物、镍的精炼过程*
6	喉部	石棉*、异丙基油类、异丙醇制造过程、芥子气、镍和某些镍化合物、镍的精炼过程、烟炱、焦油和矿物油类
7	肺-气管、支气管	丙烯腈、阿米脱、砷和某些砷化合物*、石棉*、铍和某些铍化合物、双氯甲醚和氯甲甲醚*、镉和某些镉化合物、氯丁二烯、铬和某些铬化合物*、硫酸二甲酯、环氧氯丙烷、赤铁矿（氧化铁)、地下赤铁矿采矿过程*、六氯环己烷、(六六六）异烟肼铅和某些铅化合物、芥子气*、镍和某些镍化合物、镍的精炼过程*、烟炱、焦油和矿物油类*、2，3，7，8-四氯二苯-对-二噁英、氯乙烯*、偏二氯乙烯
8	胸膜-间皮瘤	石棉*
9	骨	铍和某些铍化合物
10	结缔组织	右旋糖酐铁
11	皮肤	砷和某些砷化合物*、氯丁二烯、多氯联苯类（黑色素瘤)、烟炱、焦油和矿物油类*
12	乳腺	己烯雌酚、利血平
13	女性生殖道、子宫内膜卵巢、阴道（透明细胞癌）	己烯雌酚
14	前列腺	镉和某些镉化合物
15	膀胱	4-氨基联苯*、金胺、金胺制造过程*、联苯胺*、*N*、*N*-双（2-氯乙基）-2-萘胺（氯萘吖嗪)*、环磷酰胺、异烟肼、铅和某些铅化合物（尿道)、2-萘胺*、非那西丁、*N*-苯基-2-萘胺、邻和对甲苯胺、烟炱、焦油和矿物油类*
16	肾	镉和某些镉化合物、铅和某些铅化合物（尿道)、非那西丁
17	中枢神经系统	氯丹和七氯、苯巴比妥、苯妥因、氯乙烯*

续表

序号	靶器官部位	化学致癌物质①
18	造血淋巴系统	砷和某些砷化合物、苯*、苯丁酸氮芥、氯霉素、氯丹和七氯、氯丁二烯、环磷酰胺、邻和对二氯苯、环氧氯丙烷、环氧乙烷、六氯环已烷（六六六)、米尔法兰*、氧苯丁氮酮、苯巴比妥、苯基丁氮酮、苯妥因、苯乙烯、三氯乙烯、三乙烯 硫代磷酰胺（噻替哌)、氯乙烯*
19	所有部位肿瘤	阿米脱、吸入性麻醉剂、铅和某些铅化合物、多氯联苯类

① 表中带“*”者表示该化学物质对所指靶器官部位的致癌性已获得“充分的证据”，其余化学物质仅在有关文献中曾提到该靶器官。

主要参考文献

1. 杨胜璧等编．化学危险品安全实用手册．成都：四川科学技术出版社，1987.
2. 中华人民共和国国家标准 GB 3723—83，工业用化学产品采样安全通则．北京：中国标准出版社，1983.
3. 消防常识问答编写组编．消防常识问答．上海：上海人民出版社，1975.
4. Norman V. Steeve. Handbook of laboratory Safety. 2nd Ed. Cleveland，Ohio，CRC. 1971.
5. 中华人民共和国．工业企业设计卫生标准 TJ36—79，北京：中国标准出版社，1979.
6. 管玉亮编．空气中有害物质手册．机械工业出版社，北京：1989.
7. Я. M. 鲁格什科著，张宏才译．大气中工业排放有害有机化合物手册．北京：中国环境科学出版社．1990.
8. Ю. Ю. 卢里耶著，雷世寰等译．工业污水的化学分析．北京：化学工业出版社，1989.
9. R. Althouse 著，王汝宽译．化学物质与人类癌症．北京：人民卫生出版社，1983.

第八章　安全分析

安全分析在化工生产车间尤其是三防性（防火、防毒、防爆）的车间，具有极其重要的意义。安全分析的准确与否关系到车间及整个工厂的安全。为此要严格执行分析制度，一丝不苟，以确保人身与国家财产的安全。

安全分析分两类，即动火分析和有毒气体分析。工作中可根据下列三种情况决定进行哪一类安全分析：在容器外动火，在容器内取样时，只做动火分析；人在容器内工作不动火时，只做有毒气体分析；人在容器内工作进行动火时，应同时做动火分析与有毒气体分析。

为确保维修人员的绝对安全，凡动火的容器和管道必须设法吹净。

（一）容器和管道的吹净方法

（1）空气吹净　由于此法稍有使用不当，遇有火苗时易引起爆炸，因此一般不采用。

（2）蒸汽吹净　此法可靠，能普遍采用。但人欲进入容器内时，则需用空气重复排气以免窒息。

（3）惰性气体吹净　此处的“惰性气体”系指不燃或对造气无用的那些气体而言，例如二氧化碳、氮气。“惰性气体”适用于管道、容器的吹净。如果人要进入容器内时，吹净之后仍需要用空气重复置换。此法虽好，但受到二氧化碳、氮气来源等条件的限制。

（4）用水排气　此法可靠，但费时间不经济，一般的动火分析不采用此法。如果人要进入容器内时可采用此法。

上述四种吹净方法中蒸汽吹净比较理想，其他三种可根据具体情况选用。动火时还应注意将各个系统隔绝开，压力表阀和取样阀中留存的气体也要注意排尽。

（二）安全分析的注意事项

（1）仪器要经常保持正常，不漏气。要求做到分析及时，结果准确。

（2）要分清对象是哪一类安全分析。

（3）应了解容器或管道所采用的吹净方法。

（4）检查所采用的安全措施是否与动火证上要求的相符，否则可拒绝取样。

（三）安全分析的取样

橡皮管用绳子扎在竹杆上，插入深度需在2m以上。如是在管道法兰间隙或容器管道上小孔中取样，插入需在1m以上。如果是较大的容器，较长的管道，应插入更深些，例如合成氨厂的气柜、水洗塔及相应的管道，则其插入深度需在4m以上。须注意死角地方，要保证全部取到。若在室内取样，不可停留在一方，在动火处的四周均需取到。动火证上除准确填写分析结果外，应填写清楚以下各点：取样时间、取样的具体地点、有关的安全措施、分析人员签字。

（四）安全分析方法

动火分析与有毒气体分析均属气体分析范畴，对于各种易燃、易爆、有毒气体的具体分析方法可参考有关专业书，例如环保分析、燃料分析等，在本手册第二分册第三篇第十五章“气体分析”有关部分中也有介绍。本节仅对动火分析中决定是否动火的“可燃性气体含量的测定手续”“试验气体爆炸情况的测定手续”和“几种可燃、可爆气体的具体动火分析方法”

作一介绍。对于有毒气体分析仪就目前国内采用的关于某些有毒气体的取样方法、吸收剂、测定用试剂与反应原理、测定方法等列表介绍。

第一节 动火分析

一、燃烧法测定可燃性气体总量

1. 测定手续 用气体分析器量气管取样100ml，直接以氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳和氧气以测定其含量（%）。

设：w_{CO_2}/（%）$=A$ w_{O_2}/（%）$=B$

如果氧气的含量在15%以上，另取样100ml，直接将气体送入铂丝呈红热状态的燃烧瓶内，来回送3次，其减少体积C可在量管上直接读出。但这一读数，并非可燃性气体的真实体积，而是可燃性气体加上耗氧的总和，故经燃烧后的气体需要以氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳及氧。

设：w_{CO_2}/（%）$=A_1$ w_{O_2}/（%）$=B_1$

则其可燃性气体含量X可依下式计算：

$$X = [C + (A_1 - A)] - (B - B_1)$$

若经过燃烧后减少体积C❶ <0.5%即可不用吸收，将数据填写在动火证上，可以动火。如果减少体积C>0.5%，则经过吸收并按照上式计算。若可燃性气体含量X<0.5%，可以动火；可燃性气体含量X>0.5%，不准动火。

2. 注意事项 注意燃烧瓶夹套必须用水冷却，控制燃烧瓶铂丝呈红热状态，如呈白热状态则会烧毁铂丝。

二、爆炸法试验气体爆炸燃烧情况

1. 测定手续 用气体分析器量气管取样100ml，送入爆炸瓶，通电察看是否呈现爆炸。将气体抽回量气管，观察读数有无变化。另取100ml用氢氧化钠及焦性没食子酸钾溶液分别吸收二氧化碳及氧。当使用氮气吹净时，只分析二氧化碳或可燃性气体含量。

2. 注意事项 若氧含量大于20%而小于21%通电不爆，方可填写在动火证上，准予动火。

若氧含量大于21%时不得动火。因其超过空气中最高含氧量，应查看取样处是否有氧从钢瓶内渗出，否则分析仪器一定有问题，须进行全面检查。

使用惰性气体吹净容器管道（采用空气复吹），需采用燃烧法测定，当分析结果氧含量在20%以上时，二氧化碳不应超过0.5%，否则需找原因。

三、几种可燃可爆气体的动火分析方法

（一）动火氢、一氧化碳（H_2，CO）的简易分析

用球胆在容器或动火点周围取样，将样气引入气体分析仪排气3次，然后准确量取100ml样气，送入爆炸瓶，如不爆炸且无火花发生，再将样气送入焦性没食子酸钾溶液吸收瓶吸收，氧的含量（%），如在20%～21%则为合格，可以动火。

❶ 这是一般标准，具体工段对某一可燃性气体含量另有明确规定。

（二）动火乙炔（C_2H_2）的简易分析

将2只保氏吸收瓶串联并各注入10ml 0.1ml·L^{-1}硝酸银（$AgNO_3$）标准溶液，使与动火设备的排气口相连，调节气流速度以使吸收瓶中气泡可数，采集气样8L。

拆除与设备的联系，将保氏吸收瓶中反应液注入250ml三角烧瓶中并用蒸馏水冲洗吸收瓶，洗液并入三角瓶中，注入（1+1）硝酸（HNO_3）8ml，以铁明矾为指示剂，用0.1mol·L^{-1}硫氰酸铵（NH_4CNS）回滴至血红色为终点。

乙炔质量分数（w）计算 $w_{C_2H_2}/(\%)=\dfrac{(c_{AgNO_3}V_{AgNO_3}-c_{NH_4CNS}V_{NH_4CNS})\times 0.013\times 100}{8\times\dfrac{26}{22.4}}$

控制指标：C_2H_2应在0.2%～0.3%。

（三）动火氯乙烯（CH_2CHCl）的简易分析

（1）将奥氏气体分析器的取样管与动火设备的排气口相连，借分析器的水准球取样（排气10次左右）读取取样体积V_0。

（2）借水准球将气体引入盛有20%氢氧化钾（KOH）吸收液的吸收瓶中，充分吸收气体中的二氧化碳（CO_2）至读数恒定，读取吸收后的气体体积V_1。

（3）将剩余气体引入盛有3%溴水的吸收瓶中，充分吸收氯乙烯（CH_2CHCl），吸收氯乙烯（CH_2CHCl）后的剩余气体引入盛有20%氢氧化钾（KOH）的吸收瓶中以吸收溴蒸气，读取吸收后的气体体积V_2。

（4）$\varphi_{CH_2CHCl}/(\%)=\dfrac{V_1-V_2}{V_0}\times 100$，控制指标：氯乙烯（$CH_2CHCl$）含量$\varphi<0.4\%$。

（5）注意事项：设备系统动火取样时，必须进排气多次，以期得到较有代表性的气体试样；溴水浓度必须在3%左右，浓度低则吸收率差，会影响结果偏低。

（四）合成氯化氢（HCl）点火以前对氯内含氢量的控制分析

氯内氢含量的测定方法（燃烧法）如下。

（1）控制指标　氯内氢含量$\varphi<0.4\%$。

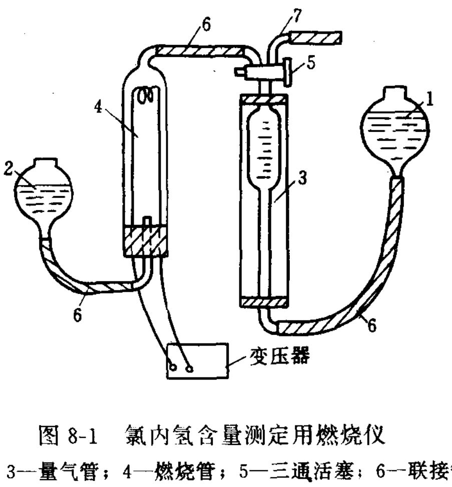


图8-1　氯内氢含量测定用燃烧仪

1，2—水准瓶；3—量气管；4—燃烧管；5—三通活塞；6—联接管；7—弯管

（2）方法原理　利用氢气和氧气通过灼热的铂丝燃烧，生成水，由燃烧后减少的气体体积计算氯内氢含量。

$$2H_2+O_2\longrightarrow 2H_2O$$

(3) 仪器 燃烧器一组；单头量气管 100ml；水准瓶（球）250ml 燃烧仪如图 8-1 所示。

(4) 分析步骤 在测定之前，燃烧管 4 及连接管 6、量气管 3 都要充满水。将单头量气管和 7 相连，使活塞 5 和 7 相通，放低水准瓶 1，把单头量气管中吸收氯气后的剩余气体吸入量气管 3 中。再旋转活塞 5 使其与 6 相通，提高水准瓶 1，把量气管中气体压入燃烧管 4 中。

再旋转活塞 5 使其与 7 相通，再放低水准瓶 1 吸入（80ml～90ml）空气，关闭活塞 5。

旋转活塞 5 使其与连接管 6 相通，放低水准瓶 1 将燃烧管 4 中的气体吸到量气管 3 中，关闭活塞 5，静置 30s，把水准瓶液面对准量气管液面，读取混合气体的体积为 V_1。

再旋转活塞 5 使其与联接管 6 相通，并提高水准瓶 1，把量气管 3 中气体压入燃烧管 4，关闭活塞 5 通电 1.5min，借水准瓶来回拉动水面，以使反应完全，关闭电源。

放低水准瓶 1，将燃烧的残余气体抽回量气管中，静置 30s，把水准瓶水面对准量气管水面，读取燃烧后气体体积 V_2。

(5) 计算

$$\varphi_{H_2}/(\%) = \frac{(V_1 - V_2)2/3}{V_0} \times 100$$

式中 V_0——氯气取样体积；

V_1——燃烧前混合气体体积；

V_2——燃烧后剩余气体体积；

2/3——换算为氢气气体的换算系数。

(6) 注意事项 燃烧前后读取体积数时静置时间要相等；气体转移前管路中必须充满水。

（五）空气中含氢量的分析

(1) 原理 二分子氢与一分子氧，在明火引爆下，爆炸生成二分子水蒸汽，反应式为

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

由于在室温下，水蒸汽冷凝成水，不占体积，因此氢气的体积为爆炸前混合气体体积与爆炸后剩余气体体积之差的 2/3 倍。

(2) 操作 装置如图 8-2。

标准氢取样：将球胆压扁卷紧，以排除空气。打开氢气瓶（或管道）取样阀，接上球胆，让氢气充入以供分析。

检漏：使气体量管内液面上升至活塞①以上，关闭活塞①，放下水准管，观察液面是否下降，如下降活塞应重新擦油。对活塞②③也应同样进行检漏。

标准氢测定：用水准管将爆炸球内气体引出，并调节好零点，将充有标准氢的球胆接于活塞②，然后打开活塞②，用氢气冲洗 2 次，再准确量取氢气 5ml，关闭活塞②，打开活塞③，将氢气压入爆炸球内，再关闭活塞③；打开活塞①②③抽取空气冲洗气体量管 2 次，量取清净空气约（20～25）ml。关闭活塞①，打开活塞③，将空气与爆炸球内氢气混合（2～3）次，再将爆炸球内气体拉出，调节零点，关闭活塞③，准确读取爆炸前混合气体的体积为 V_1ml。打开活塞③，将气体全部压入爆炸球内，关闭活塞③，通电点火爆炸，然后打开活塞③，将残余气体抽回气体量管，并调节零点，关闭活塞③，准确读取残余气体的体积为 V_2ml。则标准氢体积 $V_{标} = V_1 - V_2$。标准气需测定（2～3）次，并将数据相近的结果求出平均值。

空气中含氢的测定：按标准氢测定法，在爆炸球内加入 5ml 标准氢，然后将气体量管内的残余氢赶净，液面升到活塞①以上，并使左边的接头充满封闭液，然后将欲测定的气体通过活塞①拉入 25ml 的气体，关闭活塞①，打开活塞③，与标准氢混合均匀，调节零点，准确

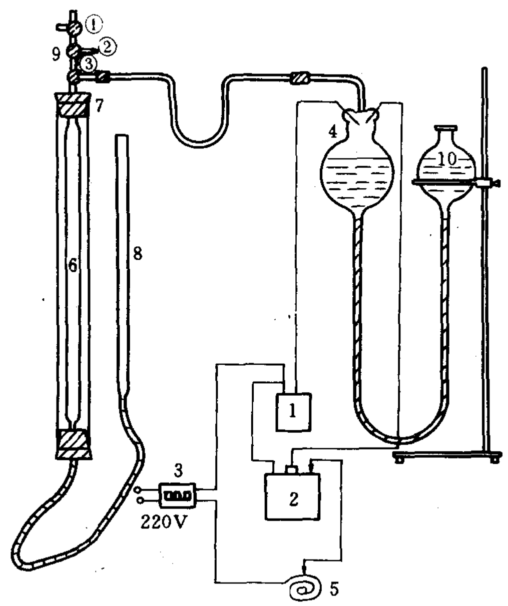


图 8-2　含氢量分析装置图

1—油浸风扇电容器（4μF±5%，400V）；2—通用式发火线圈（10V）；3—电铃变压器（220－6－12V）；4—爆炸球，球内为铂丝，两小耳装水银与外线连接；5—点火开关；6—气体量管；7—冷却套管；8—水准管；9—①②③三通活塞；10—平衡瓶

读取爆炸前的体积为 V_A，并将其压入爆炸球内，关闭活塞③，点火爆炸，打开活塞③。准确读取爆炸后的体积为 V_B。

(3) 计算　　$\varphi_{H_2}/(\%)=\dfrac{[(V_A-V_B)-V_{标}]\times 2/3}{25}\times 100$

(4) 说明　空气中含氢高于 1.5%以上，可不加标准氢，直接将气样压入爆炸球内点火爆炸即可。

测标准氢时，一定要保持周围无氢气，否则会使测定结果偏低。在空气中含氢高时，爆炸球易被炸裂，应以铜丝网包裹，以保证安全。空气中含氢量 φ_{H_2}的控制指标：$\varphi<0.4\%$（体积分数）。

第二节　有毒气体分析

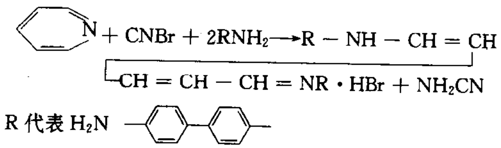
一、有毒气体和有害物质的测定方法

气样中有毒气体、有害物质的测定方法见表 8-1。

二、几种常见有害气体的快速检气管

用以检查常见有害气体的快速检气管性能可参见表 8-2（表中黑体字表示载体）。

表 8-1　有毒气体和有害物质的测定方法

有毒气体或有害物质	采　样　方　法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反　应　原　理　与　反　应　特　征	测　定　方　法
一氧化碳	方法(1)将洗净的取样瓶（100ml～150ml）用真空泵抽成部分真空，然后吸入氨性硝酸银溶液 20ml，再将取样瓶一端旋塞打开吸入气样，关好旋塞	氨性硝酸银溶液：100ml 0.1mol·L^{-1}硝酸银加 12ml 25%氨水及 800ml 0.5mol·L^{-1}氢氧化钠稀释至 1L，搁置暗处 14 天后用	当取样瓶用力振摇时，氨性硝酸银溶液遇一氧化碳由无色透明变黑，这是由于硝酸银被还原生成金属银沉淀，苛性碱加速此还原作用。主要反应为：$2Ag^{+}+2NH_3+2OH^{-}+CO \longrightarrow 2Ag\downarrow+2NH_4^{+}+CO_3^{2-}$	仔细观察溶液变色情况，从溶液由无色变深色或黑色所需时间，得出气样中一氧化碳大概含量
	方法(2)用一氧化碳快速检定器的取样唧筒抽取气样 50ml，将检定管两端锉开，装接在采样唧筒上，然后将唧筒内气样采用定时法或不定时法使之经过检定管	检定管中指示胶主要成分为以硅胶为载体，吸附了硅钼酸铵和硫酸钯的酸性溶液而制成的	正常情况下指示胶呈鲜黄色，当与一氧化碳作用后，硫酸钯先还原为钯，继而钯与硅钼酸铵反应生成硅钼蓝。其反应如下：$PdSO_4+CO+H_2O \longrightarrow Pd+CO_2+H_2SO_4$；$12Pd+(NH_4)_4H_4[Si(Mo_2O_7)_6]+14H_2SO_4 \longrightarrow H_8\left[Si\begin{pmatrix}Mo_2O_5\\Mo_2O_5\end{pmatrix}_3\right]+2(NH_4)_2SO_4+12PdSO_4+12H_2O$	按采样时现场的温度，由指示胶产生的颜色变化与标准色板比色定量
氰化氢	方法(1)串联 2 个各装有 10ml 吸收液的大型气泡吸收管，以 1L·min^{-1}速度，抽取 2L～5L 气样。吸取样品液 5ml 于比色管中	吸收液为 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠溶液。主要试剂为：吡啶-盐酸联苯胺溶液：临用时取吡啶试剂（吡啶∶水∶盐酸为 60∶40∶10 体积比）30ml、加 5%盐酸联苯胺溶液 6ml；饱和溴水；0.5%硫酸肼	氰化物在中性或弱酸性中，加溴能转化为溴化氰，用还原剂硫酸肼除去剩余的溴，再加吡啶-盐酸联苯胺，生成红色化合物。反应为 $HCN+Br_2 \longrightarrow CNBr+HBr$ 	此法灵敏度极高，可测定微量氰化物，对高浓度的样品可取少量样品或稀释后取一部分来分析。按一系列氢氰酸含量（0、0.1、0.4μl～1.5μg）配制标准色列管，向全部标准管及样品管中加入数滴饱和溴水，逐滴加入 0.5%硫酸肼溶液至黄色褪去再多加 1 滴，最后各加入 3.6ml 吡啶-盐酸联苯胺溶液摇匀，显色时的温度不超过 20℃，在暗处放置 15min，在 520nm 进行比色，标准色列管与样品必须同时做，避免因放置时间不一致而使呈色深浅不同
	方法(2)串联 2 个各装 10ml 吸收液的大型气泡吸收管，以 1L·min^{-1}速度抽取 2L～5L 气样。吸取样品液 5ml 于比色管中	吸收液为 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠溶液。主要试剂为：1-苯基-3-甲基-5-邻茂酮[①]饱和溶液；1%氯胺 T 溶液，新鲜配制；双邻氮茂酮[②]溶液（双邻氮茂酮 0.025g 溶于 25ml 吡啶中）；邻氮茂酮混合试剂（双邻氮茂酮溶液 10ml，加入 1-苯基-3-甲苯-5-邻氮茂酮溶液 50ml，混合），每日新鲜配制	氰化物在中性或弱酸性中，用氯胺 T 使其转化为氯化氰。随后加入邻氮茂酮混合试剂生成蓝色	加入氯胺 T 溶液混合，放置（1～2）min，加入双邻氮茂酮混合剂混合、放置暗处 20min 后于 620nm 波长下进行测定。用一系列的氰化氢含量配制标准色列管，以便绘制标准曲线　（1）（2）法所用标准溶液每毫升相当于 0.001mg 氰化氢标准溶液系用氰化钾配制

续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
二硫化碳	串联两个各装有10ml吸收液的喷泡式采样瓶，以每分钟0.5L速度，抽取30L空气。将10ml样品液放入25ml比色管中	吸收液系取1.0ml新蒸馏的二乙胺，用无水乙醇溶解，稀释至100ml备用。其他主要试剂为0.05%乙酸铜	在铜盐存在下：二硫化碳与二乙胺作用生成黄至棕色的二乙氨基二硫代甲酸铜，可用于比色测定，反应如下：$CS_2+NH(C_2H_5)_2 \longrightarrow (C_2H_5)_2N-CSSH$；$(C_2H_5)_2N-CSSH+NH(C_2H_5)_2 \longrightarrow (C_2H_5)_2NCSSH \cdot NH(C_2H_5)_2$；$2(C_2H_5)_2NCSSH \cdot NH(C_2H_5)_2+Cu(CH_3COO)_2 \longrightarrow [(C_2H_5)_2N-CSS]_2Cu+2CH_3COOH+2NH(C_2H_5)_2$	用一系列的二硫化碳含量配制标准色列管，标准溶液每毫升含0.1mg二硫化碳 向样品管和标准管加入相同量乙酸铜溶液，放置10min比色定量
氨	用盛有5ml吸收液的大型气泡吸收管，以$0.5L \cdot min^{-1}$速度，抽取1L气样，从吸收管中吸取(1～5)ml样品液于比色管中，加无氨水至10ml	吸收液为$0.01mol \cdot L^{-1}$硫酸$\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$或盐酸溶液。主要试剂为纳氏试剂（碘汞化钾的碱性溶液）将17g/300ml二氯化汞溶液加到35g/100ml碘化钾溶液中，然后加600ml 20%氢氧化钠，不断搅拌，在暗处放置一夜，将上层清液移到棕色瓶中备用	氨可与纳氏试剂作用生成黄色至橙色络合物，根据颜色深浅比色测定氨的含量，其反应如下：$2K_2[HgI_4]+3KOH+NH_4OH \longrightarrow \left[O\begin{matrix}Hg\\Hg\end{matrix}NH_2\right]I+7KI+3H_2O$	用一系列的氨含量配制标准色列管，标准溶液每毫升≎0.02mg氨。向全部标准管和样品管中各加入相同量纳氏试剂，混匀，放置5min后，目视比色
磷化氢	方法(1)串联2个各装有2ml吸收液的小型气泡吸收管　以$100ml \cdot min^{-1}$速度抽取(3～5)L气样	吸收液为$0.1mol \cdot L^{-1}$高锰酸钾溶液与$1mol \cdot L^{-1}$硫酸溶液等量混合，临用时配制。主要试剂：5%钼酸铵溶液为钼酸铵甲液(25g/300ml)与硫酸乙液(75/200，体积比)的混合液；10%亚硫酸钠溶液；饱和亚硫酸钠溶液；0.5%对苯二酚溶液	磷化氢在酸性溶液中被高锰酸钾氧化，生成磷酸，磷酸与钼酸铵在酸性溶液中形成磷钼酸铵，用还原剂还原成钼蓝，按蓝色的深浅比色定量，其反应如下：$5PH_3+8KMnO_4+12H_2SO_4 \longrightarrow 5H_3PO_4+8MnSO_4+4K_2SO_4+12H_2O$；$2H_3PO_4+24(NH_4)_2MoO_4+21H_2SO_4 \longrightarrow 2(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3+21(NH_4)_2SO_4+24H_2O$；$(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3 \xrightarrow[3H_2SO_4]{4[H]} (Mo_2O_5 \cdot 4MoO_3)_2 \cdot H_3PO_4+3NH_4HSO_4+2H_2O$	按一系列的磷化氢含量配制标准色列管，标准溶液（由磷酸二氢钾配制）1毫升≎$0.01mgPH_3$ 于吸收管和标准管中滴加饱和亚硫酸钠至高锰酸钾褪色，多加一滴移至比色管，用水补足至一定体积，于各管中加入相同量(1+1)硫酸、10%亚硫酸钠混合，加5%钼酸铵；混匀，再加0.5%对苯二酚溶液，混匀，于(50～60)℃恒温水浴放置0.5h，650nm比色
	方法(2)将磷化氢试纸剪成约$2cm^2$，夹在采样夹中气样进口处，连上氯化钙砂干燥管，用100ml针筒以$100ml \cdot min^{-1}$速度抽取气样100ml	磷化氢试纸的制备方法：将23%硝酸银溶液倾在培养皿中，将上述规格滤纸浸在硝酸银溶液中(3～5)min，取出后于(60～80)℃烘箱中烘干，保存暗处，最好用前临时制备	硝酸银遇不同浓度磷化氢气体生成磷化银而呈浅棕或深棕色，反应为：$PH_3+3AgNO_3 \longrightarrow Ag_3P+3HNO_3$	采样毕与人工标准色板比色定量。人工标准色板：以动态配气方法，控制PH_3在一定浓度范围内，采样后用钼蓝法比色定量，同时用磷化氢试纸采样显色后，用广告色绘制成“(0、0.6～3.0) $mg \cdot m^{-3}$”的六个色阶，夹在有机玻璃中避光保存

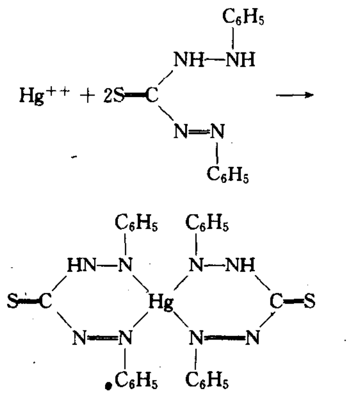
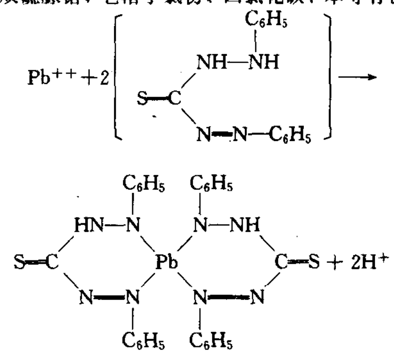
续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
三氧化硫和硫酸雾	串联2个各装有10ml吸收液的多孔板吸收管，以1L·min^{-1}的速度抽取（25～30）L气样	吸收液为0.01mol·L^{-1}氢氧化钠溶液。主要试剂：酸性氯化钡溶液，取氯化钡5g，加水溶解，再加盐酸0.4ml，然后用水稀释至100ml备用	样品液与氯化钡溶液作用生成硫酸钡沉淀，在浓度不大时形成浑浊	吸取样品液5ml；并按一系列硫酸含量配制硫酸标准色列管，标准溶液（由K_2SO_4配制）≎0.1mg·ml^{-1}硫酸。于各管中分别加入相同量的酸性氯化钡溶液，摇匀，放置10min后进行比浊
硫化氢	串联2个各装有10ml吸收液的大型气泡吸收管，以（0.2～0.3）L·min^{-1}的速度，抽取（1～2）L气样	吸收液为0.2%亚砷酸钠。取亚砷酸2g，加碳酸铵5g，再加水30ml，微热使其溶解，然后用水稀释至1L。主要试剂：1%硝酸银1.0g，溶于90ml水中，再加入硫酸10ml	硫化氢与亚砷酸钠和硫酸铵作用，形成稳定的硫代砷酸铵： $2Na_3AsO_3+3H_2S \longrightarrow As_2S_3+6NaOH$ $As_2O_3+3(NH_4)_2CO_3 \longrightarrow 3CO_2+(NH_4)_3AsO_3+(NH_4)_3AsS_3$ 在硝酸银的硫酸溶液中，硫代砷酸铵转变为硫代砷酸银，并很快地分解为棕色硫化银： $(NH_4)_3AsO_3+(NH_4)_3AsS_3+3H_2SO_4 \longrightarrow 3H_2O+As_2S_3+3(NH_4)_2SO_4$ $6AgNO_3+As_2S_3 \longrightarrow 3Ag_2S+2As(NO_3)_3$	吸取样品液5ml；并按一系列硫化氢含量配制硫化氢标准色列管，标准溶液（由0.1mol·L^{-1}硫代硫酸钠配制）≎0.01mg·ml^{-1}硫化氢 各管中分别加相同量的淀粉溶液、1%硝酸银溶液，摇匀，放置5min后进行比色。其中淀粉系起保护硫化银胶体作用
氯	方法（1）采样时，25ml吸收液与1ml 0.05mol·L^{-1}$\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right)$混合，串联2个各装有5ml上述吸收液的大型气泡吸收管，以0.5L·min^{-1}速度采集气样，当前一吸收管中吸收液的颜色有明显改变时，即可停止采样	吸收液：原液为0.1g甲基橙溶于（80～100）ml（40～50）℃水中。将溶液放冷至20℃，再加入0.5g溴化钾及20ml乙醇，然后加水至1L，再将原液以水稀释20倍即得吸收液。临用前应用氯标准液标定，25ml吸收液应消耗（2.5～3.0）ml氯标准液，否则应予调整。其他主要试剂为0.025mol·L^{-1}硫酸及0.02mol·L^{-1}硫代硫酸钠等	在酸性溶液中，氯遇溴化钾产生溴，溴能破坏甲基橙使其退色，氯含量愈高颜色愈淡，反应为： $Cl_2+2KBr \longrightarrow 2KCl+Br_2$； $2Br_2+(CH_3)_2NC_6H_4N=NC_6H_4SO_3Na \longrightarrow (CH_3)_2NC_6H_4NBr_2+Br_2NC_6H_4SO_3Na$	根据颜色减弱程度比色定量 从样品吸收液中取2.5ml放入比色管中，并按一系列氯含量配制标准色列，氯标准溶液（由漂白粉配制，取出一定体积，加一定量硫酸和碘化钾，以0.02mol·L^{-1}硫代硫酸钠标定，临用时再稀释）≎0.01mg·ml^{-1}氯。全部标准管各加等量吸收液和少量0.25mol·L^{-1}硫酸，用水稀至2.5ml，摇匀、在白色背景下与样品吸收液一起目视比色
	方法（2）串联2个各装有5ml吸收液的大型气泡吸收管，以0.5L·min^{-1}速度采取气样，当第一管出现紫红色时即停止采样	吸收液：取磷酸盐缓冲液（由2.4gNaH_2PO_4·$3H_2O$及4.6g K_2HPO_4·H_2O共溶于50ml水中，加10ml0.8%EDTA二钠盐溶液，水稀释至100ml，pH≈6.6）5ml及对氨基二乙基苯胺溶液5ml至100ml容量瓶，水稀至刻度，混匀。主要试剂：对氨基二乙基苯胺（简称DPD）溶液。称取0.1gDPD草酸盐（或0.15gDPD硫酸盐）溶于50ml水中，加入2ml 10%（体积分数）硫酸，2.5ml 0.8%EDTA二钠盐溶液，用水稀至100ml备用	氯与对氨基二乙基苯胺作用，生成紫色化合物	根据颜色的深浅，进行比色定量。将吸收液移入比色管中，并按一系列氯含量配制标准色列；氯标准溶液同（1）；2min后用540nm波长或绿色滤光片测定光密度或目视比色

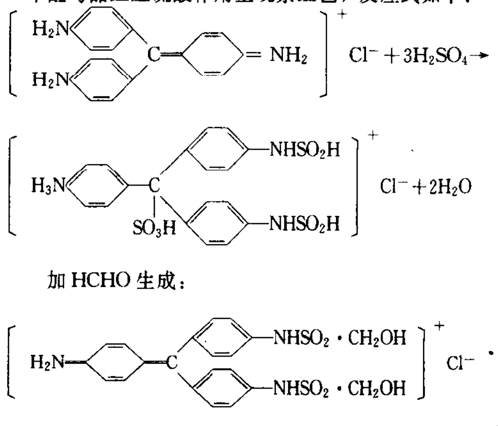
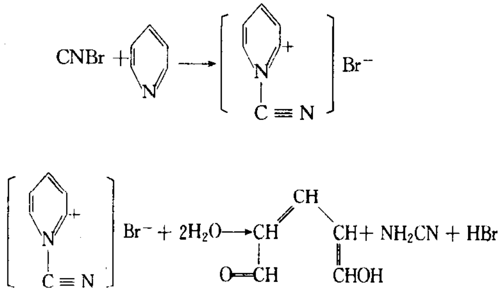
续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
氟化氢及氟化物灰尘	方法（1）用装有10ml水的小型冲击式吸收管，以3L·min^{-1}的速度抽取30L气样。如气样中只含有氟化氢气体，可串联两个各装有5ml水的大型气泡吸收管，以2L·min^{-1}的速度抽取（20～30）L气样	吸收液：水；主要试剂：羊毛铬花青R试剂，称取0.36g羊毛铬花青R溶于1L水中，静置24h后备用；硝酸锆溶液，0.044g Zr $(NO_3)_4\cdot 5H_2O$溶于少量水中，加入140ml浓盐酸，水稀释至1L；1%高锰酸钾溶液，高锰酸钾1g加水溶解后，在摇动下慢慢加入2ml硫酸，用水稀释至100ml	羊毛铬花青R与锆盐作用生成红色化合物，遇氟化物后生成$(ZrF_6)^{2-}$络离子，使颜色变淡，可按变淡程度定量	将两吸收管中吸收液混合，取出5ml样品液，加入0.2ml 1%高锰酸钾，于130℃通入水蒸汽蒸馏，收集蒸馏液50ml，取出8ml蒸馏液于比色管，加1ml羊毛铬花青R试剂，混匀，再加1ml硝酸锆溶液摇匀，15min后（520～530）nm比色；并按一系列氟化氢含量配制标准管，氟化氢标准溶液（由氟化钠配制）≎0.01mg氟化氢·ml^{-1}，蒸馏和显色与样品管同，按标准曲线查出样品液中氟化氢含量。参比液：1ml羊毛铬花青R+1ml体积分数为14%的盐酸水稀至10ml
	方法（2）采样同（1）	吸收液：水；主要试剂：茜素磺酸锆溶液。配制0.45g/100ml $ZrOCl_2\cdot 8H_2O$溶液；另配制0.70g/100ml茜素磺酸钠溶液，将此溶液缓缓注于前一溶液，再用（1+10）冷稀硫酸将混合液稀至1L备用；1%高锰酸钾同（1）	茜素磺酸钠与锆盐作用形成红色化合物，遇氟化物后生成$[ZrF_6]^{2-}$络离子，使颜色变淡，按变淡程度定量	将两个吸收管中吸收液混合，取出5ml样品液分析，蒸馏手续同（1）；并按一系列氟化氢含量配制标准管，标准溶液同（1），然后向样品及标准管各加相同量茜素磺酸锆溶液，混匀，放置30min后目视比色
汞	方法(1)串联两个各装有10ml吸收液的撞击式采样瓶，1 L·min^{-1}的速度采集气样50L，放置24h	吸收液：将0.02mol·L^{-1}高锰酸钾和(1+19)稀硫酸等体积混合而成。其他主要试剂：10%盐酸羟胺溶液，30%氯化亚锡溶液，均用无汞水配制	按汞蒸气对波长2537Å的紫外线具有强烈的吸收作用，从对紫外线吸收的多少而测定汞的含量。先将样品消化，使有机汞转化为二价汞，用氯化亚锡使汞还原，再用一定流量的无汞气体，将样品中的汞蒸气吹入测汞仪	用10%盐酸羟胺褪去样品液中高锰酸钾的紫红色，并将被测样品液10ml置于汞蒸气发生管中，接通气路橡皮管，加入30%氯化亚锡若干于发生管后，立即塞紧管塞，转动三路活塞开关，使气流通过发生管，将样品液中汞蒸气吹入测汞仪，由自动平衡记录仪记录峰高，从标准曲线查出汞的含量 在一系列含汞量的汞标准溶液中加吸收液补充到10ml，然后按样品液相同手续测出峰高（减去空白）为纵座标，汞标准（μg）为横座标绘制标准曲线
	方法(2)串联两个各装有10ml吸收液的喷泡式采样瓶，以1L·min^{-1}的速度抽取200L气样	吸收液同（1）；主要试剂：双硫腙溶液；先按常法提纯后配制成浓的双硫腙溶液；临用时在分光光度计上，以氯仿调零点，将浓的双硫腙溶液以氯仿稀释，用530nm波长校正溶液透光率为（42±0.5）%	在酸性条件下，低价汞和有机汞经高锰酸钾氧化生成高价汞，高价汞与双硫腙在pH=1～2溶液中，生成橙色络合物，此络合物可用氯仿提取用氨水将过量的双硫腙洗去后，以单色法进行比色定量，反应如下：	将采样液移到60ml分液漏斗中，另外将10ml吸收液和10ml汞标准溶液分别置于两个60ml分液漏斗中，加10%盐酸羟胺至刚刚使高锰酸钾紫红色褪去后多加1滴，加入一定量5%EDTA二钠溶液，摇匀。加入10ml透光率42%双硫腙溶液，振摇静置，分层；将氯仿层分别移入另外的分液漏斗，用6mol·L^{-1}氨水洗涤（2～3）次，将氯仿层放入有少量无水硫酸钠的漏斗中，经滤纸滤入小试管。在490nm的波长下测定标准和空白溶液的光密度（以氯仿为参比），用比较法求得每立方米气样中的汞（mg）

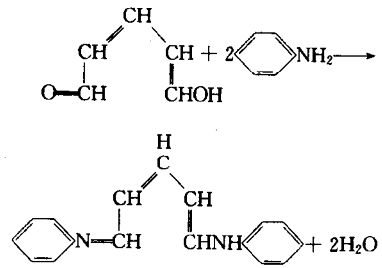
续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
汞				
铅（以铅烟和铅尘存在，包括某些铅化合物的气溶胶）	取慢速定量滤纸，置于蒸发皿内加入3%硝酸，在沸水浴上加热煮沸1min，用重蒸馏水洗至中性，按分析步骤检验无铅后，晾干保存待用 将上述滤纸，根据滤纸采样漏斗规格剪成一定直径的圆片，放在采样夹内。将螺旋夹旋紧，使不漏气；按漏斗透气直径不同（10mm～38mm）以5L～8L·min^{-1}的速度，采气20min～30min。采气完毕，取出滤纸，向内折叠，待分析用	主要试剂： ①按常法提纯双硫腙，加入氯仿适量，配成浓双硫腙储备液（约0.01%）避光冰箱保存； ②双硫腙提取液，将储备液稀释约8倍，在光电比色计上校正溶液浓度，透光度为70%（510nm，1cm比色杯）； ③干扰去除液，15ml 50%柠檬酸铵，5ml 10%氰化钾溶液、1ml 20%盐酸羟胺溶液； ④双硫腙洗除液，5ml 10%氰化钾及15ml浓氨水（重蒸、比重0.90）用重蒸馏水稀释至500ml； ⑤0.04%酚红水溶液	双硫腙在弱碱性溶液中，可与铅离子生成红色络合物——双硫腙铅，它溶于氯仿、四氯化碳、苯等有机溶剂  加入氰化钾，可掩蔽大多数干扰金属离子不能进入氯仿层。仅铋、锡、铊等仍干扰，如在pH=2～3，用双硫腙氯仿溶液预行提取，则可将铋，锡的干扰消除。用强碱性溶液对双硫腙氯仿提取液进行反萃取，可使铅进入水层而与铊分离。加入柠檬酸盐，以防止氢氧化物沉淀使铅被吸附共沉淀而受损失	将采样滤纸放在小烧杯中，加20ml 3%硝酸加热煮沸（15～20）min，并将此溶液和洗液一并倒入刻度试管，稀至20ml，取出10ml分析 样品管及标准管（系列为0、0.001～0.005mgPb标准液，并用3%HNO_3稀释至10ml），以酚红指示剂加氨水调至pH=9～10，加干扰去除液及一定量透光率70%双硫腙，振摇后，以氯仿层比色（510nm）或以单色法测定，将上述所得双硫腙铅氯仿提取液加入一定量双硫腙洗除液振摇后，氯仿层以目视或光电比色（518nm）

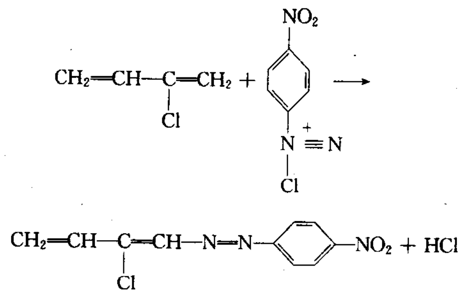
续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
甲　醛	串联两个各装 2ml 水的小型气泡吸收管，以 0.5L·min^{-1}的速度抽取 2L 气样，或用装有 5ml 水的大型气泡吸收管，以 0.5L·min^{-1}的速度抽取 4L 气样	吸收液：水；主要试剂，品红亚硫酸溶液。将 0.2g 碱性品红溶解于 120ml 热水中，过滤后加入 20ml 10%Na_2SO_3·$7H_2O$ 及 2ml 盐酸，并移入三角瓶中，用棉花团塞住瓶口置于暗处，隔日后装入棕色瓶该溶液应为无色或淡粉红色	甲醛与品红亚硫酸作用呈现紫红色，反应式如下：  遇硫酸后生成浅蓝色化合物	根据溶液颜色深浅比色测定甲醛含量 从吸收管各取 1ml 样品，分别移到比色管中 向全部标准管〔系列为（0、0.001～0.010）mg 甲醛〕和样品管各加入 0.1ml 品红亚硫酸溶液，放置 40min，然后加入 0.2ml（2+1）硫酸溶液，混匀后，比色
丙烯腈	串联 2 个各盛有 3ml 蒸馏水的小型气泡采样管，浸入冰水中以 50 ml·min^{-1}速度进行采样，抽气 2L	吸收液：蒸馏水（不含氰化物）。主要试剂：吡啶-苯胺溶液，由 70ml 吡啶，加 70%乙醇 20ml 再加苯胺 5ml 混合而成，临用前配；碱性高锰酸钾溶液，3.5ml 0.02mol·L^{-1}高锰酸钾溶液用 0.1mol·L^{-1}氢氧化钠溶液稀释至 100ml；1%抗坏血酸或 1%硫酸肼，饱和溴水	丙烯腈经碱性高锰酸钾溶液氧化后即分解出氢氰酸，在中性或弱酸性氢氰酸遇溴素便生成溴化氰，以还原剂除去多余溴素后，加入吡啶-苯胺试剂，生成橙黄色物质，主要反应如下： $CH{=\!=}CHCN \xrightarrow[溴\ 素]{KMnO_4} CNBr$ 	按色泽强度于 520nm 测定光密度比色定量 标准色列〔（0、0.2～1.5）μg，系由 2 μg·ml^{-1}丙烯腈标准溶液配成〕。加试剂顺序为：标准液加碱性高锰酸钾，数分钟后加 1%抗坏血酸至颜色褪尽，加 70%乙醇与饱和溴水，放置后加 1%抗坏血酸使溴色褪尽，加吡啶-苯胺溶液，放置一刻钟测定光密度，绘制标准曲线 样品液 1ml，加试剂步骤与量，同标准色列。从标准曲线求含量

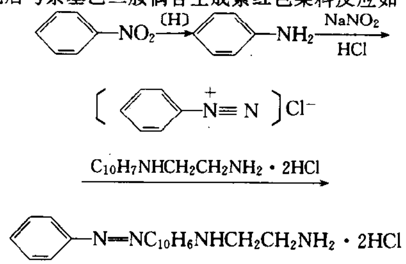
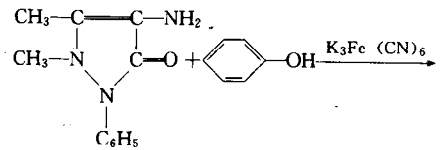
续表



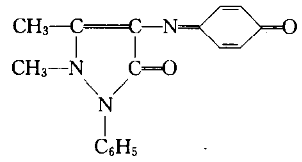
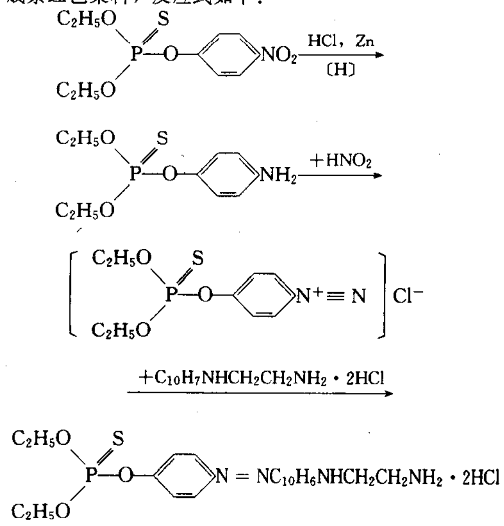
有毒气体或有害物质	采 样 方 法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反 应 原 理 与 反 应 特 征	测 定 方 法
氯丁二烯	串联2支各盛5.0ml无醛乙醇的多孔玻板吸收管，将吸收管浸入碎冰中，以1L·min^{-1}流量采取气样50L～100L	吸收液：无醛乙醇，在1L乙醇中加入25g氢氧化钾及2g～3g间苯二胺盐酸盐；放入沸水浴中回流数小时，然后慢慢蒸馏，收集中间馏分 主要试剂：对硝基苯胺重氮盐试剂，0.3g对硝基苯胺溶于6ml蒸馏水中，另取1.5g亚硝酸钠溶于4ml水，于前一溶液中加入14g碎冰，待冰块溶完后，将亚硝酸钠溶液倾入其中，搅拌后放置数分钟即可使用，用前新配	对硝基苯胺重氮盐与氯丁二烯作用产生黄色化合物，反应如下：	将两支吸收管内的样品溶液合并，置于比色管中，加入一定量对硝基苯胺重氮盐，于60±2℃恒温水浴中加热半小时，以冷水冷却至室温，立即以目视法与标准管进行比色 标准比色管：以一系列氯丁二烯的（0、0.1～0.6）ml标准液，加无醛乙醇至10ml体积，按样品管同样步骤显色 标准液为50.0μg·ml^{-1}氯丁二烯
苯、甲苯和二甲苯共同存在时的分别测定	（1）苯　串联2个小型气泡采样管，内各盛2ml硝化混合液，以100ml·min^{-1}的速度采气（500～1000）ml	吸收液：硝化混合剂，以10g硝酸铵溶解于100ml相对密度为1.84的硫酸 其他试剂：乙醚、丙酮，w=40%氢氧化钠溶液	苯于硝化混合液中被硝化后生成二硝基苯，在强碱性溶液中（pH=14），用乙醚抽提，于乙醚层中加入丙酮及氢氧化钠，即出现青紫色，可用于比色定量	采样管置于沸水浴中0.5h后，移入比色管中，稀至20ml，取出上述样液5ml加酚酞指示剂1滴，加40%NaOH至显红色，再加一定量40%NaOH，以一定体积醚提取，分取醚层，添加乙醚至10ml，取出3ml，加入一定量丙酮、氢氧化钠振摇，于575nm测其吸光度。标准色列为（0、0.002～0.030）mg（由0.1mg·ml^{-1}苯标准液配成，加一定量醚至5ml体积）显色手续同样品管



续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
苯、甲苯和二甲苯共同存在时的分别测定	(2)甲苯　可用上述分析过苯剩下的样品液	吸收液同苯，其他试剂除测苯所用外，尚需乙醇、浓氨水；缓冲液为 0.1mol·L^{-1}硝酸铵和 0.1mol·L^{-1}氨水，等体积混合	甲苯在硝化混合液中被硝化生成三硝基甲苯，在碱性溶液中（pH=9）用乙醚提取，加入乙醇与氨水反应呈紫色，可用于比色定量	取测定过苯的剩下的样品液 10ml，加酚酞指示剂，加浓氨水中和至现红色，冷后加一定体积缓冲液，以一定体积乙醚提取，分出醚层并添加乙醚至 10ml。取出 5ml 加一定量乙醇、氨水摇匀，一刻钟后于 530nm 测定光密度。标准色列为（0、0.005～0.06）mg 甲苯（由 0.2mg·ml^{-1}甲苯标准液配成，并加一定量乙醚至 5ml 体积），显色手续同样品管
	(3)二甲苯　串联 2 个小型气泡采样管，内各盛 2ml 稀硝化混合液，以 (8—10)L·h^{-1}的速度抽取空气（500～1000）ml	吸收液：稀硝化混合液，10g 硝酸铵溶于 100ml，w=86% 的硫酸中。其他试剂：乙醇及 0.5%氢氧化钠乙醇溶液	二甲苯于较稀的硝化混合剂中被硝化后用乙醚提取，于乙醚层中加入乙醇及 NaOH 反应而呈蓝绿色，可用于比色定量	采样管置于 50℃水浴中半小时，移入分液漏斗用 10ml 乙醚提取，分出醚层于比色管，加乙醚至 10ml 刻度。取出 5ml 加一定量乙醇和氢氧化钠溶液，于 610nm 测其光密度。标准色列为（0，0.02～0.20）mg 二甲苯（由 0.2mg·ml^{-1}二甲苯标准液配制，加醚至 5ml），显色手续同样品管
硝基苯	串联二个各装有 10ml 10%乙醇溶液的大型气泡吸收管，（0.4～0.5）L·min^{-1}速度抽取 2L 气样	吸收液：10%乙醇溶液。主要试剂：2.5%氨基磺酸钠溶液，1%萘基乙二胺盐酸盐溶液，4%亚硝酸钠溶液，以上均临用时配制；锌粉、6mol·L^{-1}盐酸、2%硫酸铜溶液	在酸性介质中硝基苯经锌铜联合剂还原成苯胺，经重氮化后与萘基乙二胺偶合生成紫红色染料反应如下： 	从前后采样管中各取样品液 5ml 于试管中 标准色列管为（0，0.001～0.010）mg 硝基苯（由 0.01mg·ml^{-1}硝基苯标准液配制，加 10%乙醇溶液至 5ml 体积） 于采样管及标准管各加一定体积水，6mol·L^{-1} HCl 及一定量锌粉，2% $CuSO_4$，10min 后滤至 10ml 比色管中用水稀至刻度，加 1 滴 4%$NaNO_2$，放置后再加一定量萘基乙二胺，混匀，放置一定时间，于 570nm 测定光密度
苯酚	串联两个各装 10ml 吸收液的大型气泡吸收管，以 0.5L·min^{-1}的速度抽取 5L 气样	吸收液：0.01%碳酸钠溶液。主要试剂 1%4-氨基安替比林溶液，1%铁氰化钾溶液	酚在碱性溶液中在氧化剂存在下，与 4-氨基安替比林作用生成红色安替比林染料，可用于比色定量，反应如下： 	从吸收管中各取 5ml 样品液，分别移入比色管中 标准色列管为（0，0.0005～0.01）mg 酚（由 0.01mg·ml^{-1}酚标准液配制，并用吸收液加至 5ml） 向样品管和标准管加入一定量 1%4-氨基安替比林及 1%铁氰化钾溶液混匀，放置一定时间，于 500nm，1cm 比色杯比色

续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
				
1605（对硫磷）	取质地紧密的定量滤纸，剪成直径 3cm 的圆块，放入滤纸采样器内，以 5L・min^{-1}速度采集（50～100）L 气样。将滤纸剪成小块放入试管供分析用	主要试剂：10％乙醇（体积分数） 0.25g/100ml 亚硝酸钠溶液 0.25g/100ml 氨基磺酸铵溶液 1g/100ml *N*-（1-萘基）-乙二胺盐酸盐溶液 5mol・L^{-1}盐酸溶液及锌粉	锌粉在酸性溶液中将 1605 还原成胺基化合物，经重氮化反应，再使与 *N*-（1-萘基）乙二胺盐酸盐偶合，生成紫红色染料，反应式如下： 	加 10％乙醇 8ml 于有采样滤纸的带塞试管中 标准色列为（0，0.005～0.035）mg1605（由 0.050mg・ml^{-1}1605 标准液配制，并用 10％乙醇加至 8ml） 标准管和样品管各加一定量 5mol・L^{-1}盐酸溶液及锌粉，1 滴 1％硫酸铜，塞上管塞，置沸水浴煮沸，冷却，过滤于比色管，加入一定量 0.25％亚硝酸钠、2.5％氨基磺酸钠、1％*N*-(1-萘基)-乙二胺盐酸盐均经放置，并加水至一定体积，放置一定时间，于 540nm 比色定量

续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液（或吸收剂）和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
1059（内吸磷） 3911（甲拌磷）	取一支内装有 2ml 5% 甲醇溶液的 U 型多孔玻板吸收管，以（0.1～0.5）$L \cdot min^{-1}$的速度抽取（1～10）L 空气	吸收液：5%甲醇溶液 主要试剂： ① 缓冲液 pH ＝ 7.2，16.72g$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 及 2.72gKH_2PO_4 溶于 1L 水中 ②氯化乙酰胆碱溶液：0.100g 氯化乙酰胆碱溶于 100ml 上述缓冲液 ③碱性羟胺溶液：临用前以 13.9%盐酸羟胺溶液和 14%氢氧化钠溶液等体积混合 ④三氯醋酸溶液：10g 三氯醋酸于 100ml（1+2）盐酸水溶液中 ⑤溴水：以 0.4ml 饱和溴水用水稀释至 100ml ⑥标准溶液：$2mg \cdot ml^{-1}$ 1059、3911 的贮备液用 5%甲醇溶液稀释成为 $1.5\mu g \cdot ml^{-1}$ 1059 标准溶液及 $0.2\mu g \cdot ml^{-1}$3911 标准溶液 ⑦胆碱酯酶溶液：取健康马血清为酶原，用缓冲液稀释成酶活力为 70%～80% 附酶活力测定如下： 取健康马血清 3ml，于 25ml 量瓶中用缓冲液稀释至刻度，并以此液配制酶活力标准管，系列为 0、0.1、0.3、0.5、0.7、0.8、0.9、1.0 ml 马血清溶液，并以缓冲液补足至 1ml，此溶液即相当于每 25ml 含纯马血清的毫升数为 0、0.3、0.9、1.5、2.1、2.4、2.7、3.0。各管加水 1ml，置 37℃恒温水浴预热 10min，然后在各管每隔 1min 加 1.0ml 氯化乙酰胆碱溶液，并准确在 37℃下反应 0.5h，不时振摇，并顺序从水浴取出（每隔 1min 加一管）	1059 及 3911 经溴氧化后，对胆碱酯酶有抑制作用，而胆碱酯酶能促进乙酰胆碱的水解。乙酰胆碱的量，可用羟肟酸铁比色法进行定量，由此换算成有机磷农药的含量，反应式如下： $CH_3COOC_2H_4N^+(CH_3)_3 \xrightarrow[水解]{胆碱酯酶} HOC_2H_4N^+(CH_3)_3 + CH_3COOH$ $CH_3COOC_2H_4N^+(CH_3)_3 + NH_2OH \longrightarrow CH_3CONHOH + HOC_2H_4N(CH_3)_3$ $3CH_3CONHOH + FeCl_3 \longrightarrow [CH_3CONHO]_3Fe + 3HCl$ 红棕色	将吸收管的进气口反复用管内吸收液洗涤，使吸附在进气口玻管壁上的有机磷农药溶于吸收液中，然后倒入小烧杯中，取出 1.0ml 样品溶液置于磨口塞比色管中 配制标准管，以 0、0.075、0.15、0.30、0.60、0.90、1.20、1.50μg1059 为系列，各用 5%甲醇加至体积为 1ml；并作一 B 管（与 0 管同），为 1ml 5%甲醇 在 B 管中加 1ml 缓冲液，并将样品管和标准管（包括 B 管）放在 37℃恒温水浴中预热 10min，向各管加入 1.0ml 胆碱酯酶溶液（每隔 1min 加一管，但 B 管不加），在恒温水浴中准确反应 0.5h，再在各管中加 1.0ml 氯化乙酰胆碱溶液（每隔 1min 加一管），再反应 0.5h。然后每隔 1min 取出一管，加入 2ml 碱性羟胺溶液，强烈振摇 4min，然后各管加 1ml 三氯醋酸溶液，过滤，滤液中加 1.0ml 氯化铁溶液激烈振摇后于 520nm 读取光密度 按下列公式计算出胆碱酯酶被 1059 抑制的百分数为：$1-\frac{B-X}{B-C}\times100\%=\frac{X-C}{B-C}\times100\%$。$B$ 和 C 为对照管 B 和 0 管的光密度，X 为含有 1059 标准管及样品管的光密度 用 1059 含量对相应的胆碱酯酶百分抑制率绘制标准曲线，计算出样品的百分抑制率，再由标准曲线查出 1059 含量 3911 分析步骤同 1059。只是取出 1.0ml 样品溶液后需先加 0.1ml 溴水氧化 3911 标准管（系列：0、0.02、0.04、0.10、0.14、0.16、0.20μg 3911 及 B* 管各加 0.1ml 溴水，并以 5%甲醇加足至 1.1ml） B* 管 3911 亦为 0μg。以下操作同 1059。 计算：$X=\frac{2C}{V_0}$ 式中 X——气样中 1059（或 3911）的浓度，$mg \cdot m^{-3}$；

续表

有毒气体或有害物质	采样方法	吸收液(或吸收剂)和主要试剂	反应原理与反应特征	测定方法
1059(内吸磷) 3911(甲拌磷)		加入2.0ml碱性羟胺溶液。振摇4min,再各加1ml三氯醋酸,过滤,滤液各加1ml三氯化铁溶液,在520nm以水作对照测光密度。用公式$\frac{B-X}{B}\times100$计算(式中B为0管的光密度,X为各管的光密度)得到氯化乙酰胆碱在37℃被酶水解0.5h的水解百分数。取其中水解为70%~80%的马血清管作标准,按其中马血清的量(即25ml溶液中含纯马血清毫升数)来配制胆碱酯酶溶液		C——所取样品中1059(或3911)含量,μg; V_0——为换算成标准状况下的样采体积,L。

表 8-2 快速检气管性能

检气管	灵敏度 $mg \cdot m^{-3}$	抽气量 ml	抽气速度 $ml \cdot s^{-1}$	颜色变化	试剂内容	类型
一氧化碳甲型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钯、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见（1）一氧化碳之方法（2）	比色
一氧化碳乙型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钯、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见（1）一氧化碳之方法（2）	比色 可除乙烯干扰
一氧化碳丙型	20	450	1.5	黄→绿→蓝	硫酸钯、钼酸铵、硫酸、硅胶 详见（1）一氧化碳之方法（2）	比色 可除乙烯及氧化氮干扰
一氧化碳	25	100	1.5	白→绿	五氧化二碘、发烟硫酸、硅胶	比长度
二氧化碳	400	100	0.5	蓝→白	百里酚酞、氢氧化钠、氧化铝	比长度
二氧化硫	10	400	1	棕黄→红	亚硝基铁氰化钠、氯化锌、乌洛托品、陶瓷	比长度
硫化氢	10	200	2	白→褐	醋酸铅、氯化钡、陶瓷	比长度
氯	2	100	2	黄→红	荧光素、溴化钾、碳酸钾、氢氧化钾、硅胶	比长度
氨	10	100	2	红→黄	百里酚蓝、硫酸、硅胶	比长度
氧化氮	10	100	1	白→绿	联邻甲苯胺、硅胶	比长度
氢氰酸	0.2	100	2	白→蓝绿	联邻甲苯胺、硫酸铜、硅胶	比长度
丙烯腈	0.4	100	2	白→蓝绿	联邻甲苯胺、硫酸铜、硅胶	比长度
磷化氢	3	100	2	白→黑	硝酸银、硅胶	比长度
苯	10	100	1	白→紫褐	发烟硫酸、多聚甲醛、硅胶	比长度

三、气相色谱法测定气样中的有毒气体物质

1. 苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯

进样量：1ml 气体。色谱柱：5％有机皂土，5％邻苯二甲酸二壬酯。

担体：上试酸洗 101，(60～80) 目，纸速 $5mm \cdot min^{-1}$。

柱长：2m，内径 4mm，柱温 55℃。

鉴定器：氢火焰离子化。载气：氢 $50ml \cdot min^{-1}$，空气 $500ml \cdot min^{-1}$。

2. 苯、异丙苯、苯乙烯

进样量：气体 1ml，柱温 109℃，纸速 $5mm \cdot min^{-1}$。

色谱柱：15％聚乙二醇-400＋5％双甘油，柱长 2m，内径 4mm。

担体：6201，(40～60) 目。载气：氮 $83ml \cdot min^{-1}$，氢 $39ml \cdot min^{-1}$，空气 $680ml \cdot min^{-1}$。

鉴定器：氢火焰离子化。

3. 乙醛、丙醛、丁醛、丙烯醛、丙酮

进样量：液体，50μl。

色谱柱：30％聚乙二醇-4000，载体：6201，(40～60) 目。

柱长：2m，内径 4mm，柱温 80℃。

鉴定器：氢火焰离子化。载气：氢 35ml·min^{-1}。

空气：400ml·min^{-1}，纸速 5mm·min^{-1}。

4. 苯、甲苯、氯苯

进样量：气体 1ml。鉴定器：氢火焰离子化。

色谱柱：GDX-01，(40～60）目，纸速 6.35mm·min^{-1}。

柱长：1.5m，内径 4mm，柱温 200℃。

载气：氮 60ml·min^{-1}，氢 30ml·min^{-1}，空气 120ml·min^{-1}。

5. CO、CO_2、C_2H_4、C_2H_6

色谱柱：活性炭，2.25m，内径 ϕ4mm，(30～40) 目。

鉴定器：热导池，程序升温 (80～170)℃。鉴定器温度：100℃。

载气：氮 23ml·min^{-1}。

6. 滴滴涕等有机氯农药

电子俘获鉴定器对具有强负性原子或基团（如卤素、硝基等）的分子十分灵敏。

色谱柱：Chromosorb W（60～80）目，5%硅油 QF-1（Silicone 0：1 QF-1）和 5%硅油 DC-200（Silicone 0：1 DC-200)。

柱温：190℃，注射温度 220℃。溶剂：苯。

载气：90ml·min^{-1}。柱长 1.2m，内径 4mm。

7. 农药甲基-1605、1605

色谱柱：SE－30，2%，1.5m，内径 4mm。

柱温：170℃，溶剂用丙酮。鉴定器：氢火焰离子化，载气用氮，燃气用氢，空气。

8. 丙烯醛

色谱柱：5%聚乙二醇-400，6201 载体（40 目～60 目)。

柱长：0.5m，内径 4mm，柱温 40℃。

载气：氢 (30～40) ml·min^{-1}。空气 400ml·min^{-1}。

鉴定器：氢火焰离子化。进样量，空气 1ml。

9. 苯、甲苯、氯苯、二甲基、异丙苯

色谱柱：0.5%真空硅脂（High Vacuum Silicone)，玻璃粉载体，(80～100) 目。

柱长：1.8m，内径 4mm。

柱温：50℃及 60℃。鉴定器：氢火焰离子化。

进样量：液体 (0.2～1) μl。气体：(1～5) ml。

载气：氮 (30～35) ml·min^{-1}。氢 30ml·min^{-1}，空气 (400～500) ml·min^{-1}。

第九章　强氧化剂、爆炸性物质的处理与防爆

第一节　一般概念

强氧化剂是指具有强烈氧化性的物质。它们在标准电位顺序中的位置越低，标准电位值愈正，在化学反应中愈易获得电子，则这类物质（分子、原子或离子）就是越强的氧化剂。在没有还原剂放出电子，氧化剂当然不可能获得电子。氧化剂本身，一般是不会燃烧的，但在空气中遇酸或受潮湿、强热或与其他还原性物质、易燃物、可燃物接触，即能分解引起燃烧或与可燃物质构成爆炸性混合物。强氧化剂如氟、三价钴盐、过硫酸盐（或 $S_2O_8^{2-}$）、过氧化氢、过氧化物、高锰酸盐（或 MnO_4^-）、氯酸盐（或 ClO_3^-）、溴酸盐（或 BrO_3^-）、重铬酸盐（或 $Cr_2O_7^{2-}$）、氯等等。

爆炸性物质指具有猛烈爆炸性的物质，当其受到高热、摩擦、冲击或与其他物质接触发生作用后，能在瞬间发生剧烈反应，产生大量的热量和气体，并使气体的体积迅速增加而引起爆炸。下列物质均属于敏感性强、易分解和引起爆炸的物质：

臭氧、过氧化物（含特有的—O—O—基）；

氯酸和高氯酸化合物（含特有的 Cl—O 原子团）；

氮的卤化物（含特有的＝N－X 基，X 表示卤素）；

亚硝基化合物（含特有的—NO 基）；

重氮化合物和叠氮化合物（含特有的 $\overset{N}{\underset{N}{\|}}\!>$，$\overset{N}{\underset{N}{\|}}\!>$N— 基或原子团 N ＝ N）；

雷酸盐（含特有的—ONC 基或原子团—N＝C）；

乙炔等炔类和炔化物（含—C≡C—基）。

实际上，某些强氧化剂本身就是爆炸性物质，如硝酸铵、过氧化物、高氯酸盐。

爆炸是当物质极迅速地发生突然变化时，其分子、原子或原子核内的能量转变为物质运动能的结果，在爆炸的一瞬间有大量的能量放出。爆炸时，物质状态急剧改变，温度和压力剧烈升高。化学反应所发生的爆炸（例如氢、氧混合物的爆炸，三硝基甲苯的爆炸等）和原子核分裂链式反应所引起的爆炸都是典型的爆炸。本节所述只限于化学反应所发生的爆炸。

爆炸极限是当可燃气体、可燃液体的蒸气（或可燃粉尘）与空气混合并达到一定浓度时，遇到火源就会发生爆炸。这个遇到火源能够发生爆炸的浓度范围，叫做爆炸极限，通常用可燃气体、蒸气（或粉尘）在空气中的体积分数（%）来表示。但可燃气体、蒸气（或粉尘）与空气的混合物并不是在任何混合比例下都有可能发生爆炸，而是有一个发生爆炸的浓度范围，即有一个最低的爆炸浓度——爆炸下限，和一个最高的爆炸浓度——爆炸上限，只有在这两个浓度之间，才有爆炸的危险。如果可燃气体、蒸气（或粉尘）在空气中的浓度低于爆炸下限，遇到明火，既不会爆炸，也不会燃烧；高于爆炸上限，遇到明火，虽然不会爆炸，但接触空气却能燃烧。因为低于爆炸下限时，空气所占的比例很大，可燃物质的浓度不够；高于爆炸上限时，则含有大量可燃物质，而空气却不足，缺少助燃的氧气。

了解各种可燃气体或蒸气（或粉尘）的爆炸极限，对于做好防火、防爆工作具有重要意

义。首先，根据某些可燃气体或蒸气（或粉尘）的爆炸极限，可以看出它们的危险程度。可燃气体或蒸气（或粉尘）危险的大小，主要取决于爆炸极限幅度的大小。幅度越大，其危险性就越大。例如乙炔，爆炸下限是2.5%，上限是80%；乙烷，下限是3.00%，上限是12.50%。两者相比，乙炔的危险性就比乙烷大得多。因为乙炔的爆炸极限幅度是乙烷的8.1倍，这就意味着乙炔发生爆炸的机会比乙烷多8.1倍。其次，根据某些可燃气体、蒸气（或粉尘）的爆炸极限，可以看出在哪些情况下容易使它们进入爆炸范围。爆炸下限较低的可燃气体或蒸气，如果泄漏在空气中，即使它们的量不是很大，也容易进入爆炸范围，具有很大的爆炸危险性，因此在生产、使用这类物质时，就要特别注意防止“跑、冒、滴、漏”。对于爆炸上限较高的可燃气体或蒸气，如果有空气进入它们的容器或管道设备中，则不需要很大的数量，就能使之进入爆炸范围，危险性也很大，因此，对这类易燃气体或蒸气的生产、使用，要注意设备的密闭并保持正压，严防空气渗入。

各种可燃、易爆气体在空气中（或在氧气中）的爆炸极限列于表9-1及9-2。表中所给出的爆炸极限数据，系全部在大气压及室温下，于直径为2英寸[1]或大于2英寸的弹式器（或管）中向上传播（火焰）所测定得的，所有数值以体积百分率为基础。但某些气体的爆炸上限，由于它们的蒸气压较低，则是在稍高的温度下测定得到的。

混合气体的爆炸范围列于表9-3。

表9-1　气体和蒸气在空气中的爆炸极限（可燃性极限）[①]

化合物	化学式	可燃性极限 φ/(%) 下限	上限
烷属烃			
甲烷	CH_4	5.00	15.00
乙烷	C_2H_6	3.00	12.50
丙烷	C_3H_8	2.12	9.35
正丁烷	C_4H_{10}	1.86	8.41
异丁烷	C_4H_{10}	1.80	8.44
正戊烷	C_5H_{12}	1.40	7.80
异戊烷	C_5H_{12}	1.32	7.60
2,2-二甲基丙烷	C_5H_{12}	1.38	7.50
正己烷	C_6H_{14}	1.18	7.40
正庚烷	C_7H_{16}	1.10	6.70
2,3-二甲基丙烷	C_7H_{16}	1.12	6.75
辛烷	C_8H_{18}	0.95	—
壬烷	C_9H_{20}	0.83	—
癸烷	$C_{10}H_{22}$	0.77	5.35
烯烃类			
乙烯	C_2H_4	2.75	28.60
丙烯	C_3H_6	2.00	11.10
1-丁烯	C_4H_8	1.65	9.95
2-丁烯	C_4H_8	1.75	9.70
戊烯	C_5H_{10}	1.42	8.70
炔烃类			
乙炔	C_2H_2	2.50	80.00
芳香类			
苯	C_6H_6	1.40	7.10
甲苯	C_7H_8	1.27	6.75
邻二甲苯	C_8H_{10}	1.00	6.00
环烃类			
环丙烷	C_3H_6	2.40	10.40
环己烷	C_6H_{12}	1.26	7.75
甲基环己烷	C_7H_{14}	1.15	6.70
酸类			
乙酸	$C_2H_4O_2$	5.40	17.00
氢氰酸	HCN	5.60	40.00
酯类			
甲酸甲酯	$C_2H_4O_2$	5.05	22.70
甲酸乙酯	$C_3H_6O_2$	2.75	16.40
乙酸甲酯	$C_3H_6O_2$	3.15	15.60
乙酸乙酯	$C_4H_8O_2$	2.18	11.40
乙酸丙酯	$C_5H_{10}O_2$	1.77	8.00
乙酸异丙酯	$C_5H_{10}O_2$	1.78	7.80
乙酸丁酯	$C_6H_{12}O_2$	1.39	7.55
乙酸戊酯	$C_7H_{14}O_2$	1.10	—
氢			
氢	H_2	4.00	74.20
氮化合物			
氨	NH_3	15.50	27.00
氰	C_2N_2	6.60	42.60

[1] 1英寸（吋）=2.54cm。

续表

化合物	化学式	可燃性极限 φ/（%）		化合物	化学式	可燃性极限 φ/（%）	
		下限	上限			下限	上限
吡啶	C_5H_5N	1.81	12.40	酮类			
硝酸乙酯	$C_2H_5NO_3$	3.80	—	丙酮	C_3H_6O	2.55	12.80
亚硝酸乙酯	$C_2H_5NO_2$	3.01	50.00	甲基乙基酮	C_4H_8O	1.81	9.50
氧化物				甲基丙基酮	$C_5H_{10}O$	1.55	8.15
一氧化碳	CO	12.50	74.20	甲基丁基酮	$C_6H_{10}O$	1.35	7.60
环氧乙烷	C_2H_4O	3.00	80.00	氯化物			
氧化丙烯	C_3H_6O	2.00	22.00	甲基氯	CH_3Cl	8.25	18.70
二噁烷	$C_4H_8O_2$	1.97	22.25	乙基氯	C_2H_5Cl	4.00	14.80
过氧化二乙基	$C_4H_{10}O_2$	2.34	—	丙基氯	C_3H_7Cl	2.60	11.10
硫化物				丁基氯	C_4H_9Cl	1.85	10.10
二硫化碳	CS_2	1.25	50.00	异丁基氯	C_4H_9Cl	2.05	8.75
硫化氢	H_2S	4.30	45.50	丙烯基氯	C_3H_5Cl	3.28	11.15
硫氧化碳	COS	11.90	28.50	戊基氯	$C_5H_{11}Cl$	1.60	8.63
萜烯类				乙烯基氯	C_2H_3Cl	4.00	21.70
松节油	$C_{10}H_{16}$	0.80	—	二氯乙烯	$C_2H_4Cl_2$	6.20	15.90
醇类				二氯丙烯	$C_3H_6Cl_2$	3.40	14.50
甲醇	CH_4O	6.72	36.50	溴化物			
乙醇	C_2H_6O	3.28	18.95	甲基溴	CH_3Br	13.50	14.50
丙烯醇	C_3H_6O	2.50	18.00	乙基溴	C_2H_5Br	6.75	11.25
正丙醇	C_3H_8O	2.15	13.50	丙烯基溴	C_3H_5Br	4.36	7.25
异丙醇	C_3H_8O	2.02	11.80	胺类			
正丁醇	$C_4H_{10}O$	1.45	11.25	甲胺	CH_3N	4.95	20.75
异丁醇	$C_4H_{10}O$	1.68	—	乙胺	C_2H_7N	3.55	13.95
正戊醇	$C_5H_{12}O$	1.19	—	二甲胺	C_2H_7N	2.80	14.40
异戊醇	$C_5H_{12}O$	1.20	9.00	丙胺	C_3H_9N	2.01	10.35
醛类				二乙胺	$C_4H_{11}N$	1.77	10.10
乙醛	C_2H_4O	3.97	57.00	三甲胺	C_3H_9N	2.00	11.60
2-丁烯醛	C_4H_6O	2.12	15.50	三乙胺	$C_6H_{15}N$	1.25	7.90
糠醛	$C_5H_4O_2$	2.10	—	小麦面粉②		$9.7g\cdot m^{-3}$	
三聚乙醛	$C_6H_{12}O_3$	1.30	—	铝粉		$40g\cdot m^{-3}$	
醚类				硫粉		$2.3g\cdot m^{-3}$	
甲乙醚	C_3H_8O	2.00	10.00	硫矿粉		$13.9g\cdot m^{-3}$	
二乙醚	$C_4H_{10}O$	1.85	36.50	煤粉		$35g\cdot m^{-3}$	
二乙烯醚	C_4H_6O	1.70	27.00				

① 主要摘自 Weast："Handbook of Chemistry and Physics" D-131. 第 63 版（1982～1983）。

② 小麦面粉、铝粉、硫粉、硫矿粉、煤粉指粉尘在空气中的爆炸下限。

表 9-2　气体和蒸气在氧气中的爆炸极限（可燃性极限）①

化合物	化学式	可燃性极限 φ/（%）		化合物	化学式	可燃性极限 φ/（%）	
		下限	上限			下限	上限
氢	H_2	4.65	93.9	丙烯	C_3H_6	2.10	52.8
氘	D_2	5.00	95.0	环丙烷	C_3H_6	2.45	63.1
一氧化碳	CO	15.50	93.9	氨	NH_3	13.50	79.0
甲烷	CH_4	5.40	59.2	乙醚	$C_4H_{10}O$	2.10	82.0
乙烷	C_2H_6	4.10	50.5	二乙烯醚	C_4H_6O	1.85	85.5
乙烯	C_2H_4	2.90	79.9				

① 摘自 Weast："Handbook of Chemisty and Physics" D-131 第 63 版（1982—1983）。

表 9-3 某些混合气体的爆炸极限

气体名称	气体组分 φ/(%)						爆炸极限(在空气中)φ/(%)	
	CO_2	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	下限	上限
水煤气	6.2	0.3	39.2	49.2	2.3	3.0	6.9	69.5
高炉煤气	9～12	0.2～0.4	26～30	1.5～3.0	0.2～0.5	55～60	40～50	60～70
半水煤气	7.0	0.2	32.0	40.0	0.8	20.0	8.1	70.5
焦炉煤气	1.5～3	0.3～0.8	5～8	55～60	23～27	3～7	6.0	30.0
发生炉煤气	6.2	0	27.3	12.4	0.7	53.4	20.3	73.7

第二节 遇强氧化剂可能引起燃烧或爆炸的危险物质及其他危险物质

一、能引起燃烧的物质

浓硝酸、浓硫酸与松节油、乙醇等，浓硝酸与纤维织物等；

过氧化钠与乙酸、甲醇、丙酮、乙二醇等；

溴与磷、锌粉、镁粉混合；

三氟化氯与有机物或灼热金属；

高锰酸锌与有机物、易燃物；

硫酸与过氧化钠；

氧化汞与硫磺；

臭氧与有机物。

二、能形成爆炸混合物的物质

高氯酸与乙醇及其他有机物（另详见第五节高氯酸和高氯酸盐的处理）；

高氯酸盐、氯酸盐与硫酸；

氯酸盐与硫或硫化锑；

氯酸盐与磷或氰化物；

氯酸盐或硝酸盐与铝、镁；

氯酸盐、硝酸盐、硝酸与磷；

铬酐（三氧化铬）或高锰酸钾与硫酸、硫磺、甘油或有机物；

过硫酸铵与铝粉遇水；

高铁氰化钾、高汞氰化钾、卤素与氨；

硝酸钠与硫氰化钡；

硝酸钾与乙酸钠；

硝酸铵与锌粉遇少量水；

硝酸盐与酯类；

硝酸盐与氯化亚锡；

亚硝酸盐与氰化钾；

硝酸与噻吩或与碘化氢；

硝酸与镁、锌或其他活泼轻金属；

硝酸-亚硝酸盐与有机物及铝；
过氧化物与镁、锌或铝；
液态空气或氧气与有机物接触，压缩氧与油脂接触；
发烟硫酸或氯磺酸与水；
次氯酸钙与有机物；
发烟硝酸与乙醚；
卤素和铝粉遇少量水。
上述一和二的情况很难严格分开，一般说强氧化剂与有机物接触极易引起燃烧与爆炸。

三、其他危险性混合物或物质

1. 遇水着火或爆炸的物质及其他可爆物质

(1) 钾、钠、电石、活化金属（如来尼镍等活性镍）等遇水着火或爆炸。

(2) 三氯化铝、三氯化磷、五氯化磷、磷化钙遇水均有发火爆炸的可能。

(3) 浓蚁酸（甲酸）极不稳定，可能爆炸。

(4) 液体氨与汞（流体压力计里的汞）也可能构成爆炸性化合物。

2. 乙炔化物（碳化物） 当乙炔和类似的化合物与银、铜、二价汞和某些其他金属等盐溶液反应时生成乙炔化物——爆炸沉淀物，特别是铜及银的碳化物非常容易爆炸。当这些乙炔化物中夹杂有氧化性酸根（硝酸根、溴酸根、高氯酸根等）及卤素时，会大大增加爆炸的危险性，若夹杂着没有氧化性能的阴离子时（硫酸根、磷酸根、有机酸根）则能降低乙炔化物的爆炸性。

3. 叠氮与重氮化合物及硝基化合物 叠氮酸、叠氮酸钠、叠氮酸铅、重氮甲烷等叠氮与重氮化合物；间硝基苯、三硝基苯酚、三硝基甲苯、硝化纤维素、硝化甘油等硝基化合物受热、震动、撞击、或遇明火时都易爆炸。

4. 可燃性蒸气和气体 可燃性蒸气和气体如氢、氨、一氧化碳、二硫化碳、乙炔、环氧乙烷、甲烷、丁烷、苯、甲醇、乙醇、乙醛、丙酮、乙醚、乙酸乙酯、已烷等低级烃等与空气或氧气的混合物是特别危险的“爆炸混合物”，它们在一定比例下会发生爆炸，其爆炸极限见表 9-1—3。气相反应时的爆炸非常危险，因为许多因素能够急剧改变气体反应的速度，并且在气体混合物的一部分中开始的反应能迅速地扩展到全部混合物。关于改变气体反应速度的一般原因，将于第六节中讨论。

第三节 醚中过氧化物的爆炸与控制

乙醚、异丙醚、二噁烷、四氢呋喃及其他醚类均倾向于从空气中吸收氧并与之反应形成不稳定的过氧化物，当它们被蒸发或蒸馏变浓时，或当这些过氧化物与其他化合物生成爆炸混合物时，或因受热、震动或摩擦时，都会产生极猛烈的爆炸。由于自动氧化在有机化合物中形成的过氧化物已引起过许多实验室的意外事故。过氧化氢、氢过氧化物、羟烷基过氧化物的爆炸都没有象醚氧化所生成的过氧化物的残留物的爆炸那样猛烈，因此对于这类过氧化物的检定、阻化、消除或控制从安全的角度来看都是十分重要的。

一、乙醚的爆炸

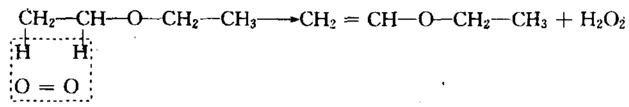
乙醚在室温时的蒸气压很高，闪点（—45℃）与着火点很低，每升空气含 1g 乙醚蒸气即

能燃烧，着火温度是180℃。使用乙醚的操作，决不能用直接火，应该用蒸汽浴加热。乙醚蒸气的相对密度很大（比空气重2.6倍），所以从瓶中或其他仪器里渗漏出来的蒸气，会沿着实验桌、椅、地板蔓延开去，这种蒸气能被远处的火种所点燃。乙醚和空气或氧气的混合物，其混合比例在广大的限界间都会爆炸，因此乙醚着火的危险性远远超过汽油。

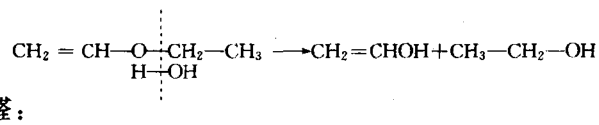
虽然乙醚有较大的化学稳定性，但是它在长期与空气接触的情况下，逐渐氧化而生成过氧化物，这种过氧化物极易爆炸，这常常是在使用乙醚时未予认真对待而造成猛烈爆炸的原因。蒸馏放置很久的乙醚时，当蒸馏瓶中留下少量的液体（在这些液体内，积聚了乙醚的过氧化物，它们较乙醚不易挥发），有时即发生猛烈的爆炸。曾有记载将被认为是化学纯粹的乙醚，在水浴上进行蒸馏，当将近蒸馏完毕时，所剩余的油状残渣，在100℃以下的温度，发生激烈爆炸，毁坏全部玻璃器皿。也曾记载在脂肪测定中，用乙醚提取脂肪，当大部分乙醚已在水浴上蒸去后，将乙醚残留物（实为脂肪＋过氧化物）在105℃下烘干过程中发生猛烈爆炸，毁坏烘箱。

曾经发现，蒸馏乙醚时从一只薄壁蒸馏烧瓶爆炸飞散出来的玻璃碎片可使位于数米以外的厚壁玻璃器皿造成整齐的穿孔，可见其爆炸之猛烈。

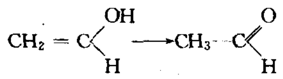
乙醚同空气中的氧作用而生成过氧化物，可作如下解释：开始由1分子乙醚和1分子氧生成1分子乙烯乙醚和1分子过氧化氢：



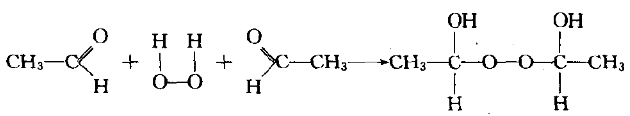
生成的不饱和醚由于水解的结果分解成1分子乙醇和1分子乙烯醇：



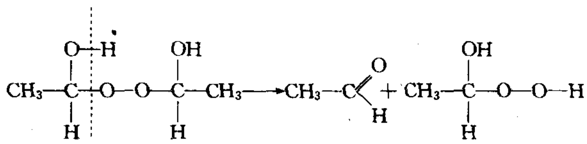
乙烯醇立即重排成乙醛：



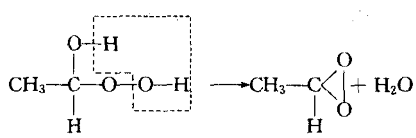
如此生成的乙醛按照以下方式和过氧化氢作用：



这个产物可以叫做过氧化二羟二乙烷。但是爆炸的主要原因不是这个过氧化物。过氧化二羟二乙烷能分解成乙醛和羟乙基过氧化氢：



而羟乙基过氧化氢失去一分子水转变成亚乙基过氧化物，这是一个十分不安定而有猛烈爆炸性的物质：



这种过氧化物的沸点较乙醚高，因此爆炸往往发生在回收蒸馏的末尾，将乙醚蒸馏到原来体积的1/10时，就存在了爆炸的危险；而且过氧化物是一个强烈的氧化剂，可能引起我们所不希望的反应。

在使用乙醚之前，即使不需要完全蒸干，亦应检查一下是否含有过氧化物。可以用过氧化物的各种特征反应来发现乙醚中过氧化物的存在。

二、乙醚及其他醚中过氧化物的检查与测定

用碘化钾方法试验乙醚中过氧化物 在避直射日光下，加1ml 新配制的10%碘化钾溶液至一盛有10ml 乙醚的无色玻璃具塞量筒中，对着白色背景从横断方向观察，两液层均应无色。

9ml 乙醚加入1ml 饱和碘化钾溶液，震摇，若醚层出现黄色，则其中至少有多于0.0005%的过氧化物（就单一的有机物结构而论），则此种乙醚应设法处理。

用亚铁氰化钾检查醚中过氧化物 混合新配制的5ml 1%硫酸亚铁铵、0.5ml 的0.50mol·L^{-1}硫酸及0.5ml 的0.1mol·L^{-1}硫氰酸铵（如此时显色要用微量锌粉脱色）溶液，并与被检验的等体积的醚类一起震摇，如有过氧化物存在则显现红色。

定量测定四氢呋喃和二噁烷中的过氧化物的方法 加6ml 冰醋酸，4ml 三氯甲烷，1g 碘化钾于50ml 上述醚中，以0.1mol·L^{-1}硫代硫酸钠溶液滴定，上述醚中所含过氧化物的百分率为：

$$\frac{c_{Na_2S_2O_3}/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot V_{Na_2S_2O_3}/\text{ml}\times 1.7}{\text{样品量 } m/\text{g}}$$

从用 N，N-二甲基-对-苯二胺硫酸盐检出微克量级的过氧化苯酰和过氧化十二（烷）酰已发展成一种从醚类中快速检出痕量过氧化物的方法。

二烷基过氧化物只有在强酸条件下水解为氢过氧化物后才能检出。

三、乙醚及其他醚中过氧化物的阻化与抑制

已知在贮存乙醚时，通常要加入阻化剂以阻止其自动氧化，例如使乙醚与活性炭或活性氧化铝保持接触可以防止贮存中的乙醚发生爆炸。必须指出，阻化剂只能阻止过氧化物的形成，是不能消灭已经形成的过氧化物。所以在蒸馏醚之前，仍应对有否此类过氧化物的存在进行检查，如有发现则应该在蒸馏之前，先行设法消除。

保存乙醚时若加入金属钠则可以达到破坏过氧化物的目的。

有好几种物质已用来稳定醚类并阻止过氧化物的形成，包括加入0.001%氢醌或二苯胺、多元酚、氨基酚与芳（基）胺类，于100ml 醚中加入0.0001g 1，2，3-苯三酚（焦性没食子酸）能在两年之间阻止过氧化物的形成。虽然铁能作为乙醚的抑制剂，而铁、铅、铝则不能抑制异丙醚的过氧化。据报道，树脂 Dowex-1[●]能有效抑制乙醚中过氧化物的形成。0.01%的1-萘酚对于异丙醚，氢醌对于四氢呋喃，氯化亚锡或硫酸亚铁对于二噁烷均分别有抑制作用。取代的芪醌已作为阻止醚类及其他化合物的“氧化恶化作用”的稳定剂。

四、乙醚及其他醚中过氧化物的除去

为了除去乙醚中所含的过氧化物，可以加入2mol·L^{-1}硫酸亚铁的酸性溶液摇荡（或每升

● 树脂 Dowex-1（Nalcite SBR）系 Dow Chemical 公司商品，树脂类型为季铵强碱性（苯乙烯），相当于我国国产强碱性阴离子交换树脂717，711。

乙醚或其他醚加入40g30%硫酸亚铁水溶液)，有时，特别当含有较高浓度过氧化物时，这一反应进行得很激烈，乙醚甚至开始沸腾，数分钟后，过氧化物就不再存在，此时乙醚内含有过氧化物的分解产物——乙醛和乙酸，为了除去它们，可以和铬酸溶液共同摇荡，然后用氢氧化钠溶液使之呈碱性，分离后再加入碳酸钠进行蒸馏。也可以在用硫酸亚铁处理后，依次以氯化钙饱和溶液、无水氯化钙、金属钠处理，最后进行蒸馏，可参见第一篇第二章第九节“乙醚的提纯”。

除去醚类中氢过氧化物的试剂，包括亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、氯化亚锡、锂四氢化阿兰醇（注意，用此物质曾引起火灾）、锌与酸、钠与醇、铜-锌、高锰酸钾、氢氧化银、二氧化铅。

对含有次烷基或二烷基过氧化物的醚类，可用锌溶于醋酸或盐酸，钠溶于酒精（注意，容易引起氢的着火）来还原或用铜-锌电偶来净化。

加1份23%氢氧化钠于10份乙醚或四氢呋喃中，搅拌30min 后能完全除去过氧化物；加小片的氢氧化钠对四氢呋喃中所含的过氧化物经过两天之后可以降低但不能除去。四氢呋喃中的过氧化物可用1%氢硼化钠水溶液搅拌后除去，时间仅15min。

可用氧化铝柱除去乙醚、丁醚、二噁烷及石油馏分中的过氧化物和痕量水，也可用来除去四氢呋喃、十氢化萘、1，2，3，4-四氢化萘、异丙醚、对异丙基苯中的过氧化物。

氢化钙已用于得到无水及无过氧化物的二噁烷，手续是通过回流并继之以蒸馏，而且这种技术也适用于其他醚类。

亚铈盐加氢氧化钠即制得氢氧化亚铈 $Ce(OH)_3$，在含有过氧化物的醚类中加入氢氧化亚铈，一二分钟后，氢氧化亚铈被过氧化物氧化，由白色变红棕色，在15min 内能完全除去过氧化物，过氧化铈化合物及未变化的氢氧化亚铈用离心法及倾出法除去（注意，若用电动离心法而无防爆装置，则可燃蒸气易着火）。

但应指出，2-特丁基过氧化物不能从酸化过的碘化钾溶液析出碘，也不会与氢氧化亚铈反应。

第四节　三氯化氮爆炸的预防及三氯化氮的测定

氮的许多无机化合物都是强烈的爆炸性物质，例如，当长期静置或加热氨-银络合物溶液时会析出氮化银 Ag_3N。这种化合物在湿润状态时会发生爆炸，甚至在进行定性分析工作时也曾发生过这种危险。因此氨性银溶液不准长期放置留待将来使用，如有析出的 Ag_3N，必须以浓盐酸分解之。氮化亚铊 Tl_3N 也是非常不稳定的，甚至与水接触也会分解而爆炸。

氯作用于浓氯化铵溶液生成黄色油滴状的三氯化氮 NCl_3：

$$3Cl_2+NH_4Cl \longrightarrow 4HCl+NCl_3-228.6kJ$$

三氯化氮和许多有机物质接触时，或加热至90℃以上以及被撞击时，即按下式以剧烈爆炸的形式而分解，并放出大量的热：

$$2NCl_3 \longrightarrow N_2+3Cl_2+459.8kJ$$

碘作用于浓氨溶液时，析出碘化氮暗褐色沉淀，它是带有数量不定的氨的三碘化氮（NI_3）化合物，碘化氮极不安定，在干燥状态下稍一接触即行爆炸。

总之，在与氨和它的衍生物反应时常常会生成爆炸性物质，在以氨作为介质进行反应的工作中更不能忽视这一点，例如，在液态氨进行碘化铅与氨基钾的反应中容易获得“PbNH”，这种化合物在加热或遇水时极易爆炸。

上述这些无机氮化合物中，对三氯化氮应给以特别注意。本节着重讨论三氯化氮爆炸的预

防及其测定方法。因某些厂曾发生了液氯的严重爆炸事故，经查明爆炸原因是由于盐水中有人为带入的铵盐，在适当条件（pH<4.5时）下铵盐与氯作用而产生三氯化氮，这是一种爆炸性物质，由它引起了爆炸。为此，在氯碱工业安全生产上，除对氯内氢含量的问题需要足够重视外，对于三氯化氮亦应高度警惕和十分重视，以防意外事故的发生，经某厂反复研究试验，认为生产上要控制以下几个主要指标：

盐水含铵：无机铵<1mg·L⁻¹，总铵<4mg·L⁻¹；

自来水含铵：无机铵<0.2mg·L⁻¹；

氯液排污含 NCl_3：<30g·L⁻¹。达到40g·L⁻¹时，应注意烧碱车间的加强分析；当达到50g·L⁻¹时，除各方面寻找原因研究措施解决外，应增加排污次数，并加强分析观察动向；达到60g·L⁻¹时，应采取紧急措施找出原因；如还有继续升高的趋势，则应作出紧急处理。又此处氯液排污指标是指原氯进热交换器前的原氯预冷却器以外的系统设备排污而言的。今特介绍某厂对于三氯化氮的试行分析方法如下：

一、氯液排污中三氯化氮的测定

原理　利用亚硫酸钠与三氯化氮的氧化还原反应。反应中，三氯化氮被还原成铵离子（NH_4^+）而溶于水，再在碱性介质中蒸出氨，用标准酸吸收后以碱回滴。主要反应为：

$$3Na_2SO_3+3H_2O+NCl_3=3Na_2SO_4+2HCl+NH_4Cl$$

$$NH_4Cl+NaOH=NaCl+NH_3\uparrow+H_2O$$

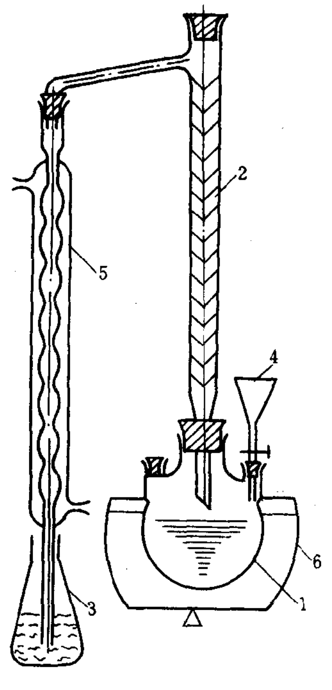


图 9-1　测定氯液排污中三氯化氮的蒸馏装置

仪器　①500ml 双口或三口圆底烧瓶，②齿形分馏柱，③250ml 三角烧瓶2只，④具塞漏斗，⑤球形冷凝管，⑥甘油浴，⑦分液漏斗。

试剂　30%氢氧化钠溶液，饱和亚硫酸钠溶液，0.0500mol·L⁻¹硫酸，0.1000mol·L⁻¹氢氧化钠溶液，0.1%甲基橙。

步骤　装置如图9-1所示，注意连接处不漏气。先取试样25ml 于三角瓶中，加入50ml 亚硫酸钠溶液充分摇动1h 后，在分液漏斗中将油状物与水层分开，并将油状物以每次约10ml 蒸馏水洗涤约5次，洗水与原水层合并通过漏斗4加于蒸馏烧瓶1中，再从漏斗4加入30%氢氧化钠溶液50ml（注意勿漏气）。然后加热蒸馏，蒸出的氨被预先盛放于三角瓶3中的0.0500mol·L⁻¹硫酸 $V_{酸}$/ml 所吸收，最后用甲基橙作指示剂用0.1000mol·L⁻¹氢氧化钠溶液回滴用去 $V_{碱}$/ml。

计算　$$c_{NCl_3}/g\cdot L^{-1}=\frac{2(c_{酸}/mol\cdot L^{-1}\cdot V_{酸}/ml-c_{碱}/mol\cdot L^{-1}\cdot V_{碱}/ml)\times 120.4}{25}$$

二、原料氯中三氯化氮的测定

原理　利用三氯化氮与盐酸作用成氯化铵，微量铵离子（NH_4^+）用奈氏试剂进行比色定

量。

$$4HCl+NCl_3=NH_4Cl+3Cl_2\uparrow$$

仪器　250ml 气体洗瓶2只，标准比色管一套，25ml 包氏吸收管数只。

试剂　奈氏试剂，分析纯浓盐酸，15%氢氧化钠溶液。

步骤　将原料氯先经过缓冲瓶，并以每秒2～3个气泡通过盛有20ml 浓盐酸的包氏吸收管，最后以盛有15%氢氧化钠溶液的洗瓶[1]吸收氯气，通氯时间约4h，至氢氧化钠接近作用完毕时停止通氯。然后将盐酸吸收液放在磁蒸发皿内加热蒸发至近干（勿使过干），再用蒸馏水25ml 将其洗入比色管中，加入氢氧化钠溶液和奈氏试剂各1ml，直接与标准色比色，如有干扰离子可用酒石酸钾或酒石酸钠作掩蔽剂。

标准色的配制，称取优级纯或分析纯无水氯化铵3.00g，稀释至1000ml，从中吸出20ml 再稀释至1L，取此稀液的（0.2，0.5，1.0，1.5，2.0，2.5）ml 各稀释至25ml 于标准比色管中，得标准液每标准比色管分别含（0.004，0.01，0.02，0.03，0.04，0.05）mg 铵离子（NH_4^+），分别加入氢氧化钠溶液和奈氏试剂各1ml 即得标准色系列。

计算

$$w_{NCl_3}/(\%)=\frac{\frac{c}{1000}\times\frac{120.4}{18}}{G}\times100$$

式中　w_{NCl_3}——NCl_3的质量分数，%；

G——碱吸收瓶吸收氯后的增量，g；

c——标准比色管含铵离子（NH_4^+），mg。

如果样品颜色太深，可适当稀释后再进行比色。

三、液氯中三氯化氮的测定

原理、试剂及仪器同上。

取样　用热水瓶取好液氯样品，事先用－30℃以下的盐水将气体洗瓶及量筒预冷好，再取出样品约100ml 立即倾注于洗瓶中，密闭连接好装置，使气化的氯逐渐通过包氏吸收管内的浓盐酸，再以盛有15%氢氧化钠溶液的洗瓶吸收氯气，余气用水力泵抽气，使其充分吸收。下一步的操作和计算均可参照原料氯中三氯化氮的测定方法进行。

四、盐水（或自来水）含铵量的测定

取盐水（或自来水）50ml，放入开氏烧瓶中，加入30%氢氧化钠溶液1ml，再加入蒸馏水50ml，进行加热蒸馏，用比色管接受冷凝液，待蒸馏至50ml 时取下比色管，加1ml 30%氢氧化钠溶液，再加1ml 奈氏试剂进行比色，比色时于另一支比色管中加50ml 蒸馏水，也加1ml 30%氢氧化钠溶液及1ml 奈氏试剂，然后慢慢滴加标准铵液（一般浓度为含 NH_4^+ 0.1mg·L^{-1}），当两管色度相同时，记下所用标准铵液数量，按下式计算无机铵含量 c：

$$c_{NH_4^+}/mg\cdot L^{-1}=\frac{V\times0.1}{50}\times1000$$

式中　V——用去标准铵液体积，ml。

测定前均需作空白试验，计算时减去空白数。

盐水中总铵量的测定法　取样品10ml 于三角烧瓶中，加0.2g 硫酸铜（催化剂），加2g 硫

[1] 盛碱溶液洗瓶（即碱吸收瓶）在吸收氯气前后均应称量。

酸钾（提高沸点），加入10ml 浓硫酸，摇匀后，放在电炉上加热直至三角瓶中充满白烟时，停止加热。冷却后用蒸馏水冲洗到开氏烧瓶中，然后按上述方法（但应加50ml 氢氧化钠溶液）进行测定及计算。

第五节 高氯酸和高氯酸盐的处理

一、高氯酸的性质

高氯酸是一种广泛使用的分析试剂，它用于溶解铬矿石、不锈钢、钨铁、氟矿石或湿法灰化破坏有机物以测定有机物中的无机成分，以及用于非水滴定，但如使用不当，常会引起爆炸，为此必须了解它的性质并正确掌握使用方法。

市售高氯酸相对密度为1.67～1.70，含量 $w=70\%\sim72\%$，$5mol\cdot L^{-1}$，沸点为203℃。化学纯高氯酸溶液的比重参见表9-4。浓度低于85％的高氯酸水溶液，在室温并隔绝尘土和有机物等条件下可以长期保存。但若浓缩高氯酸水溶液到85％（相当于一水合物 $H_3O\cdot ClO_4$）以上时，就会逐渐变色而爆炸。无水高氯酸是强氧化性的无色液体，可发生以下反应而部分形成七氧化二氯：

$$3HClO_4 \rightleftharpoons [H_3O]ClO_4 + Cl_2O_7$$

随后七氧化二氯又按下式分解：

$$2Cl_2O_7 = 4ClO_2 + 3O_2$$

表 9-4 化学纯高氯酸溶液的浓度（w）与相对密度的关系

w_{HClO_4}/(%)	特定组成或指标	相对密度25℃/4℃ (73℉/39℉)	w_{HClO_4}/(%)	特定组成或指标	相对密度25℃/4℃ (73℉/39℉)
60	—	1.5483	71	—	1.6777
65	$HClO_4\cdot 3H_2O$	1.5967	72	—	1.6912
66	—	1.6102	72.5	恒沸点(203℃)	1.6980
67	—	1.6237	73①	—	1.7047
68	—	1.6372	73.6	$HClO_4\cdot 2H_2O$	1.7129
69	—	1.6507	74	—	1.7182
70	—	1.6642	75	—	1.7318

① w>73％的高氯酸，即使在相对干燥的空气中也能发烟，在室温下也是很强的氧化剂。

ClO_2为黄褐色气体，是一个吸热性很强的（生成热为－27kcal）和非常不稳定的化合物，受热或与有机物接触立即发生猛烈爆炸而分解为氧和氯，也正是这些反应说明无水高氯酸的不稳定性，有时简直在保存时它也会发生爆炸。因此分析实验室中不用无水的和浓度高于85％的高氯酸。

热的 $w=60\%\sim72\%$高氯酸是强氧化剂和强脱水剂，热的浓高氯酸的氧化能力强于硫酸，而与硫酸-三氧化铬混合物相似，遇易氧化物质如有机物，则常易发生猛烈的爆炸。冷的高氯酸却没有氧化性质，而仅仅是强酸。

溶铋于高氯酸会发生爆炸，这是铋的独特性质。

所有有关高氯酸爆炸的记录都和无水高氯酸、它的有机衍生物或有机物被高氯酸迅速氧化有关。例如，将浓高氯酸和浓硫酸混合，由于硫酸使高氯酸脱水，产生无水高氯酸而引起爆炸。因此浓高氯酸切勿与浓硫酸混合使用。又高氯酸和乙酸酐或冰醋酸的混合物曾发生极猛烈的爆炸，这是由于乙酸酐吸水而产生无水高氯酸的缘故。这可用以下方程式表示：

$$2.5Ac_2O + HClO_4\cdot 2.5H_2O = 5AcOH + HClO_4 + 76.9kJ$$

式中 Ac_2O 代表乙酸酐，AcOH 代表乙酸。说明当这些试剂混合时放出相当量的热。若有过量的乙酸酐[1]存在，则可看作是无水高氯酸在乙酸中的溶液，这是一个爆炸性很强的混合物，能发生以下的完全燃烧反应：

$$CH_3COOH + HClO_4 = 2CO_2 + 2H_2O + HCl$$

据测定爆炸温度为2400℃，在此温度下1g 的这种混合物能在瞬间产生约7L 的气体。

把测定钾的滤液(含乙醇和高氯酸)加热也会引起爆炸，是由于形成了高氯酸乙酯。

用高氯酸氧化有机物质时，若反应物颜色变浅黄，并继续变为黄、浅棕而暗棕，随之就会爆炸。所以一开始变色，就应迅速稀释和冷却。如果颜色变化过快就应立刻迅速离开现场，以免引起伤害事故。通常处理有机物时应先用硝酸氧化，再加高氯酸完成氧化作用，且高氯酸应该过量，过量的高氯酸溶液起稀释作用，从而避免爆炸的可能性。对于较大量的有机物，或者是硝酸也不易分解的物质(脂肪酸、石蜡等)以用硝酸-硫酸-高氯酸混合物分解为宜。此时可先用硝酸处理试样，再加入硫酸并热至(160～180)℃，最后分批(每次少量)加入高氯酸或高氯酸-硝酸混合物，这样操作较为安全，因每次只氧化一小部分试样。与高氯酸不混合的有机试样会发生猛烈爆炸，因为氧化作用集中于接触的表面的缘故。如果先用硝酸、硫酸处理，就能破坏原试样为较简单化合物，而使之溶解于高氯酸，便不致发生爆炸的危险。温度对高氯酸的氧化是重要的影响因素，迅速冷却或用冷水稀释，可停止氧化作用。另一方面，氧化反应进行过快时将发生爆炸，而爆炸剧烈的程度主要取决于有机物的量，为此，用尽可能少的试样作分析是安全措施之一。

在一大气压下蒸馏稀高氯酸水溶液时最初蒸出的是水，然后是稀酸，最后可得一恒沸点混合物，沸点为203℃，含高氯酸72.4%和水27.6%。因此任何稀于72%的高氯酸都可以借蒸馏法而获得浓高氯酸。当然蒸馏应在全部是玻璃磨口仪器中进行，要绝对避免用软木塞、橡皮塞、滑润油等有机物质，较好的办法是在真空中蒸馏高氯酸(在2.67kPa 压力下，恒沸混合物能在111℃时蒸出来)。

浓高氯酸决不可以在聚乙烯皿中加热，否则会发生爆炸。

二、对分析实验室中蒸发高氯酸用的通风橱和管道的要求

普通分析化学试验室为高氯酸蒸发用的通风橱和管道，最好采用陶瓷或石棉制的板和圆筒，而且应定时用水冲洗，以防高氯酸凝聚过多与尘土作用而爆炸。瓷砖适用于作通风橱内的工作桌面，粘合剂也要采用不易燃烧的例如用水玻璃、水泥。绝不可用红铅和甘油或其他易氧化的材料。近年来也采用聚氯乙烯塑料板制成通风橱和管道，聚氯乙烯对燃烧有一定的自灭性。木制的通风橱经长时间使用，吸收和凝聚高氯酸蒸气，再遇热(如电炉加热试样等)会发生火灾和爆炸。若万不得已采用普通的木框玻璃通风橱时，则应注意以下各点：

(1)应采用质地致密的木料作通风橱；

(2)应充分通风，以防止高氯酸蒸气凝聚；

(3)常用水冲洗通风橱内部，特别是木料部分；

(4)定期检查木料有无变质(可取一小片木材在电热板上加热，视其是否易于着火。因含氧化剂的木料比不含的易于燃烧)。

高氯酸蒸气与易燃气体或其蒸气会形成爆炸猛烈的混合物，切忌使之相遇。因此蒸发高氯

---

[1] 在非水滴定中，经常在高氯酸的冰醋酸溶液加入适量乙酸酐除去溶液中的水分，注意不应加入过多以免爆炸。

酸的室内，决不能同时蒸发乙醚、乙醇等溶剂，其他房间如使用同一通风管道，也不能排出易燃烧的蒸气。

三、高氯酸的安全处理简则

根据以上所述的高氯酸的危险性质，今将其使用和安全处理简则归纳如下：

(1)使用高氯酸时应戴面罩，以防不测。

(2)高氯酸应盛于附玻璃塞的玻璃瓶中，放置在玻璃皿、瓷皿或瓷砖之上以防溢漏。

(3)高氯酸附近不可放有机药品或还原物质如乙醇、甘油、次磷酸盐等。

(4)万一泻落在桌面上，应迅速用水冲去，尽可能不用棉布拭擦。

(5)变色的高氯酸应以水稀释后倒入水槽并继续用水冲洗除去。

(6)对前人未分析过的试样进行高氯酸处理时，或进行未作过的有高氯酸参加的反应，最好先取微量样品作试验，观察有无爆炸的危险。

(7)高氯酸接触脱水剂浓硫酸、五氧化二磷或醋酸酐，脱水后会起火和爆炸。

(8)乙醇、甘油或其他能形成酯的物质，决不能与高氯酸共热，否则猛烈爆炸。

(9)某些无机物如次磷酸盐和三价锑或铋的化合物，遇热的高氯酸会爆炸。不论氧化无机或有机物质，应加入大量高氯酸(意指大大多于氧化所需之量)，多余的高氯酸可起稀释作用。

(10)破坏有机物(包括生物试样)需先用硝酸处理，将易氧化的部分除去，难氧化的部分也起部分分解，再加高氯酸以完成氧化。含氮杂环化合物一般不易被硝酸氧化，须用其他步骤氧化。不与高氯酸混溶的物质(如油脂)不能用高氯酸氧化，否则因局部作用而猛烈爆炸。

(11)蒸发稀的高氯酸溶液最后得恒沸点酸，但要注意热的高氯酸不可接触有机物，如果溶液中有金属盐就不应蒸干溶液，以防危险。

(12)高氯酸是强酸，应避免与皮肤，眼睛或呼吸器官直接接触，否则会引起严重的化学灼伤。

(13)加热高氯酸应用电热器、蒸汽浴或砂浴，不能使用油浴或直接火。

(14)废弃高氯酸应在玻璃或耐腐蚀容器中用10倍量冷水冲稀，充分搅拌后排入酸沟，再用大量水冲走。

(15)由高氯酸引起的火灾时，应用大量水灭火。考虑到火场中可能存在有机物会引起爆炸，不可轻易接近。

四、高氯酸盐对热和震动的敏感性

高氯酸盐在分析上用得比高氯酸少，主要用于无机离子钾、铷、铯、铜、镉、锰、钴、镍的检出与定量沉淀，以及有机碱、生物碱的分离与检出，其中有一些还是标准方法。此外，高氯酸镁或钡还是优良的干燥剂。

高氯酸盐可粗略地分成两大类：①一类对热和震动敏感度较大，其中包括纯粹的无机含氮高氯酸盐、重金属高氯酸盐类、氟化高氯酸盐❶(Fluorine Perchlorate)($FOClO_3$)、有机高氯酸、高氯酸酯以及任何高氯酸盐和有机物质、金属粉末或硫的混合物。②一类对热和震动敏感度较小，其中包括纯粹的高氯酸铵、碱金属的高氯酸盐、碱土金属的高氯酸盐、高氯酰氟(Perchloryl fluoride)。

❶ 其他卤素的高氯酸盐也能爆炸。

目前，对于安全处理高氯酸盐还没有统一规定。大致可以认为，许多重金属和有机碱高氯酸盐，以及高氯酸肼和氟化高氯酸盐(Fluorine Perchlorate)是非常敏感的，必须十分小心谨慎，应看做“起爆药”一样加以处理。例如，高氯酸吡啶在碰击下能起爆，又如高氯酸银-苯络合物为炸药。对于上述高氯酸盐，必须避免摩擦、加热、火花、震动和重金属的沾污，并且工作时要对所有工作人员准备防护屏障、保护衣，甚至适当的隔离。

高氯酸铵，碱金属、碱土金属的高氯酸盐的危险性较少，但处理不当也会引起爆炸。例如高氯酸镁是良好的干燥剂，但一般情况下不要用盛高氯酸镁的干燥器来干燥有机化合物，如果干燥器另盛有酸则更是危险。有时干燥器上所涂抹的润滑脂也将会成为引起爆炸的一种隐患，不可不加以预防。如果有必要用它来干燥有机液体时，则应事先测定高氯酸镁的纯度。这是因为在制备高氯酸镁时其中残留有游离高氯酸，而高氯酸镁作干燥剂引起的爆炸是由于此系统中形成了高氯酸酯。应当引起注意的是高氯酸甲酯和乙酯，它们是猛烈爆炸性的化合物，已知的许多次爆炸均是由于用标准方法测定高氯酸盐或以高氯酸钾形态测定钾的过程中采用了乙醇萃取。

第六节　实验室内发生爆炸的原因、爆炸情况与防爆措施

一、爆炸原因和爆炸情况

实验室内产生爆炸的原因有二，一是由于器皿内和大气间压力差逐渐加大；一是由于反应时反应区域内的压力急剧升高或降低。

(一)器皿内和大气间压力差加大引起的爆炸

(1)当器皿内部的压力减小时，如器皿壁的坚固性不够，仪器被压碎，这种爆炸称为压碎爆炸，这是危险性较小的一种爆炸。在器皿壁的厚度和机械强度相同时，器皿能支持压力的限度在很大的程度上决定于器皿的形状，如圆底烧瓶要比平底的坚固得多，而平底烧瓶中圆的又比锥形的要坚固些，球形的器皿可以保证其最大的坚固性。

发生压碎爆炸时，可能伤及爆炸器皿附近的工作人员。如果被压碎的器皿中盛的是毒物或可燃物质，或是能与空气形成爆炸性混合物时，在这种情况下，可能发生中毒、失火或爆炸混合物的极强烈爆炸，危险性更大。

(2)当器皿内部的压力加大到器皿爆炸的限度时，此时，成为爆炸原因的能量就是压缩气体或蒸气的热能。在爆炸的瞬间，气体急剧膨胀，它的一部分热能转变为功，这类爆炸要比压碎爆炸危险得多，因为破裂器皿的一些部分或掉下来的零件以很大的威力向各方飞散，甚至使工作人员受到致命的伤害，实验室受到严重的破坏，如果使用有害物质工作时，还会引起中毒、失火或形成爆炸混合物的第二次爆炸。

(二)化学反应区域内压力急剧改变引起的爆炸

(1)某些化合物(所谓爆炸物质)迅速地，在千分之几秒内分解。分解过程中一般都会离析出大量的气体，同时放出大量的热。如乙醚中的亚乙基过氧化物，氮的卤化物等等。

(2)在固体和液体物质间发生迅速反应，结果生成大量气体或放出大量的热，以致引起四周气体容积的急剧增大。例如，镁、锌或其他轻金属与硝酸的反应；用高氯酸处理与其不混合的某些固体有机物试样的反应等。

(3)当气体间迅速反应时，由于反应获得的产物有着与原来物质不同的容积，结果致使压力急剧改变(包括气体反应后占有与反应前不同的容积，或者由气体变液体或固体；但前者是

主要的)。如果反应时放出热量,必然使气体混合物的容积迅速扩大。

关于气体间反应,其反应速度受到下面这些因素的影响:

光的影响　众所周知,氢与氯间的反应,在黑暗中十分迟缓地进行,在强光照射下则发生连锁反应类型的爆炸;又如甲烷与氯的混合物,在黑暗中长时间内也不反应,但在日光照射下会引起激烈的反应,如果两种气体的比例适当则能发生爆炸。

压力的影响　许多反应的速度随着温度及压力的改变而急剧加大和减小。例如磷化氢(PH_3)与氧混合时一般不反应,如果减小压力,则在某种压力下,混合物会骤然爆炸。又如在含有空气和氢化硅混合物的设备内造成真空时也发生过类似的爆炸;大多数气体爆炸的危险性都是在一定的压力范围内,高于和低于这种爆炸区域的压力时,反应速度仍然可以测量。

表面活性物质的影响　气体反应的方向和速度有时受表面活性物质的影响而急剧改变。例如,在球形器皿内于530℃时氢与氧之间完全没有反应,但是向器皿内插入石英、玻璃、磁、铜或铁棒时就发生爆炸,说明吸着是这一反应的前提;又如被多孔性炭吸着的氯具有特别强烈的反应性能。

制造反应器皿材料的影响　制造反应器皿所用的材料同样能够影响某些反应的速度。如氢和氟在玻璃器皿中混合甚至在液态空气的温度下于黑暗中也会发生爆炸。而在银制器皿中则在一般温度下才能发生反应,若改用氟处理过的金属镁所制的器皿,则必须加热才能反应。

杂质的影响　对有气体参与的反应,很重要的一点是应该知道少量杂质对反应过程的影响如何。众所周知,许多反应如果没有必需的催化剂"水",反应就不会发生。例如,如果没有水,干燥的氯没有氧化的性能,干燥的空气也完全不能氧化钠或磷。干燥的氢和氧的混合物甚至加热到1000℃也不爆炸。痕量的水会急剧加速臭氧、氯氧化物等这些物质的分解。小量的硫化氢会极度降低水煤气和空气混合物的燃点,并因此促使其爆炸。

此外,撞击、摩擦或产生其他产物的爆炸等,均能成为爆炸的原因。

在化学体系内的爆炸不外乎以链锁(或链式)反应或热反应的状态进行。链锁的分叉是爆炸性链式反应极重要的因素。热反应中要发生爆炸,必须使反应过程中获得的热量多于损失的热量,因此产生的热量异常急剧地加速反应。

二、防爆措施

在使用危险物质工作时,为了消除爆炸可能性或防止发生人身事故,应该遵守下列原则:

(1)在工作地点使用预防爆炸或减少其危害后果的仪器和设备,包括:充分坚固器壁的仪器,例如真空装置上的玻璃器皿要用偏光镜加以检查;压力调节器或安全阀;用金属或其他较玻璃坚固的材料如有机玻璃或塑料所制的安全罩、套(见图9-2);用防护板使爆炸碎片不可能触及工作人员和易被损坏的设备;附有比仪器本身达到爆炸条件前先行损坏的安全零件装置等等。在进行有爆炸危险工作的通风橱内的玻璃要用金属网保护,或用嵌网的特种玻璃。

在管式炉内存在有爆炸的可能性时,工作人员应禁止站在炉孔的对面,切忌以脸面部位靠近炉孔。

(2)要清楚地知道工作中所用每一种物质的物理和化学性质,反应混合物的成分,使用物质的纯度,仪器结构(包括器皿的材料),进行工作的条件(温度,压力);并且应使能激发爆炸的刺激物——火花、热体等远离工作地点。

(3)将气体充装于预先加热的仪器内时,不要用可燃性气体排出空气,或相反地用空气排出可燃性气体,应该使用氮或二氧化碳来排除,否则就有可能发生爆炸的危险。

用新气体填充气量计时，必须换水；在所有不能确定气量计内气体的成分的情况下，都应当换水。

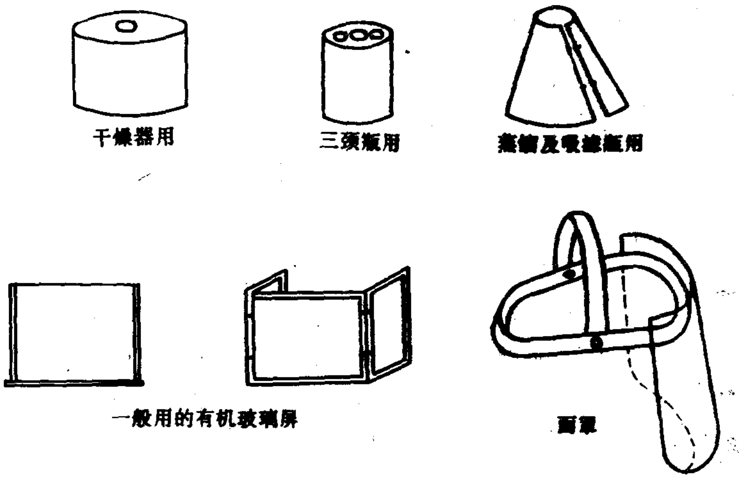


图 9-2　一般防护用的安全罩、套

（4）如果在由几个部分组成的仪器之中有可能形成爆炸混合物时，则在连接导管内装上保险器，这种保险器由里面嵌有铜网塞的玻璃短管制成，有这样的装置，发火火焰就不能扩展到这种保险器的区域之外。假使用液封的办法将几个器皿组成的系统分隔为各个部分时，也能获得相同的效果。

（5）在任何情况下对于危险物质都必须取用能保证实验结果的必要精确性或可靠性的最小量来进行工作。并且绝对不能用直接火加热。

（6）应该记住改变气相反应速度的最普遍的影响因素（光、压力、表面活性物质、器皿材料及杂质等）。

（7）在用爆炸性物质工作时，使用带磨口塞的玻璃瓶是非常危险的，关闭或开启玻塞的摩擦都可能成为爆炸的原因。因此必须用软木塞或橡皮塞并应保持其充分清洁。干燥爆炸性物质时，绝对禁止关闭烘箱门，最好在惰性气体气氛下进行，保证干燥时加热的均匀性与消除局部自燃的可能性。

还要及时销毁爆炸性物质残渣：卤氮化合物可以用氨使之成碱性而销毁；叠氮化合物及雷酸银则由酸化而销毁；偶氮化合物可与水共同煮沸，乙炔化物可以硫化铵分解；过氧化物则用还原方法销毁。

主要参考文献

1. N. V. Steere, "Handbook of Laboratory Safety", 2nd Ed. , Cleleland: CRC Press, inc. , 1971.

2. 杨胜壁等编. 化学危险品安全实用手册. 成都：四川科学技术出版社，1987.

3. 梁树权. 化学通报，1966(1)：1～8.

第十章　气瓶（钢瓶）及高压气体的使用

第一节　气瓶的结构与减压器

一、气瓶的结构

气瓶是高压容器，瓶内要灌入高压气体，还要承受搬运、滚动，有的还要经受震动冲击等外界的作用力。因此对其质量要求严，材料要求高，它一般是用无缝合金或碳素钢管制成的圆柱形容器。气瓶壁厚5—8cm。容量12—55L不等。底部呈圆形，通常都在底部再装上钢质平底的座，使气瓶可以竖放。气瓶顶部装有启闭气门（即气瓶开关阀）。图10-1是氧气钢瓶剖视图。它是一个柱形瓶体，上端有瓶口。瓶口的内壁和外壁均有螺纹，用以装上启闭气门和瓶帽。瓶口外面还套有一个增强用的钢环圈。瓶座通常制成方形，便于立稳，卧放时也不致滚动。气瓶上还应装有两个防震圈。

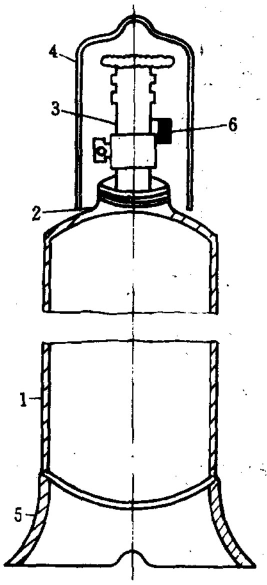


图10-1　氧气瓶剖视图
1—瓶体；2—瓶口；3—启闭气门；4—瓶帽；5—瓶座；6—气门侧面接头

启闭气门的材料必须根据气瓶所装气体的性质选用。气门侧面接头（支管）上的连接螺纹，用于可燃气体的应为左旋，非可燃气体的应为右旋，这是为防止把可燃性气体压缩到盛有空气或氧气的钢瓶中去的可能性，以及防止偶然把可燃气体的气瓶连接到有爆炸危险的装置上去的可能性。

二、减压器的结构和作用原理

由于气瓶内的压力一般很高，而使用所需压力却往往比较小，单靠启闭气门不能准确调节气体的放出量。为降低压力并保持稳压，就需要装上减压器，它是调节压力不可缺少的一个重要部件，必须正确操作和维护，方可保证气瓶的正常使用。

不同工作气体有不同的减压器。不同的减压器，外表都漆以不同的颜色加以标志，如用于氧的为天蓝色，用于乙炔的为白色，用于氢的为深绿色，用于氮的为黑色，用于丙烷为灰色等等。必须注意的是用于氧的减压器可用在装有氮或空气的气瓶上，而用于氮的减压器只有在充分洗除油脂后才可用在氧的气瓶上。

气瓶用减压器的设计输送能力，对氧气来说，流量可达40～60$m^3 \cdot h^{-1}$，工作压力可达15个表压力；对乙炔气来说，流量可达5$m^3 \cdot h^{-1}$。

按减压器的构造和作用原理分类，减压器有杠杆式和弹簧式两类。杠杆式减压器虽有许多优点，但由于构造复杂，很多单位都不愿意使用。目前一般都使用弹簧式减压器。弹簧式减压器，又分为反作用和正作用两种。反作用的减压器（见图10-2）是进入的高压气体，其压力作用在活门的上面，也就是说进气有使活门关闭的趋向。而在正作用的减压器中（见图10-3）进入的高压气体是在减压器活门的下面，有使活门开启趋向。

无论任何一种减压器，它的工作原理都不外乎是在工作过程中，调节和保持活门开启或

关闭，或使流量处于某种稳定状态。

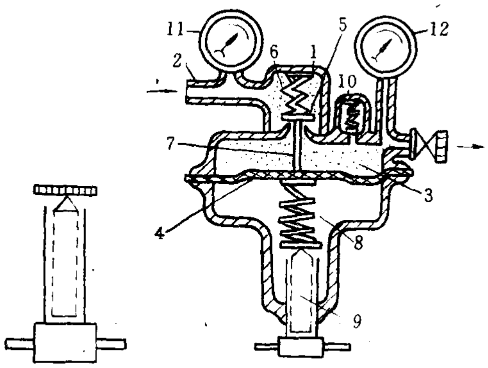


图10-2　反作用弹簧式减压器

1—高压气室；2—管接头；3—低压气室；4—薄膜；5—减压活门；6—回动弹簧；7—支杆；8—调节弹簧；9—调节螺杆；10—安全活门；11—高压压力计；12—低压压力计

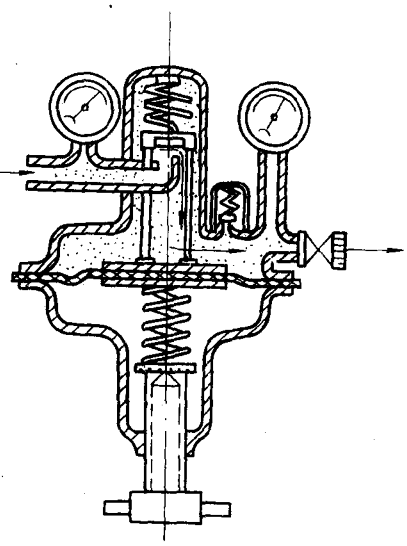


图10-3　正作用弹簧式减压器

现以反作用弹簧式的减压器为例，说明其工作原理（参照图10-2)。高压气体经过管接头2进入减压器的高压气室1，然后进入装有薄膜4的低压室3里。压缩气体通过减压活门5的开口时，其能量消耗于克服活门的阻力，因而压力降低。回动弹簧6从上面压到活门上，而调节弹簧8从下面通过支杆7压到活门上，因而弹簧对薄膜和支杆的压力，以及活门的上升量，都可以用螺杆9来调节。如果通过减压器的气体消耗量减少，那么气室内的压力就会升高，薄膜向下移动，压缩弹簧，于是活门接近座孔，使进入气室里的气体减少。在气室内的压力没有降落时及作用在薄膜与活门上的压力没有恢复平衡时，这个动作一直在进行着。当放出的气体增多时，气室里的压力降低，在弹簧的作用下使活门的上升量增加，于是通过活门放入的气体增加。假如通过活门进入气室内的气体比由减压器放出的气体多，那么气室内的压力又将增加，从而，又压缩弹簧使反方向上受弹簧作用的活门的上升量减小。减压器有安全活门10来保护薄膜，以免工作室内的气体压力增加到不容许高度时发生爆裂。减压器上还有高压压力计11和低压压力计12，前者可读出进口的高压气体的压力，后者可读出出口的工作气体的压力。

三、在装卸和使用减压器时的注意事项

减压器装卸、使用时应注意以下几点：

(1) 在装卸时，必须注意管接头2，防止丝扣滑牙，以免装旋不牢而射出。卸下时要注意轻放，妥善保存，避免撞击、振动，不要放在有腐蚀性物质的地方，并防止灰尘落入表内，以免阻塞失灵。

(2) 在装减压器前应先将气瓶气门联接口的垃圾吹除，装好后先开气瓶气门，然后将减压器调节螺丝9慢慢旋紧，使支杆7顶住活门5。此时弹簧6向上压缩，将减压阀座开启，气体由此经过低压室通向使用部分。当气体流入低压室要注意有无漏气现象。

(3) 用完先关闭气瓶气门，放尽减压器进出口的气体，然后将螺杆9松掉。反之，如不松掉调节螺杆，使弹簧长期压缩，就会疲劳失灵。

(4) 氧气瓶用的减压器内外严防被油脂沾污，以免氧气与油污起化学反应引起燃烧。

(5) 氧气瓶放气和打开减压器时，动作必须缓慢。放气太快，气体过快地流进阀门时，会产生静电火花，也是引起氧气瓶爆炸的原因之一。其他可燃易爆气体如乙炔、氢、丙烷等均应如此。

(6) 工作时，必须经常注意压力表的读数。

四、减压器的故障及一般修理

关于减压器的故障及其一般修理可归纳如下：

(1) 减压器联接部分的漏气，主要是螺纹配合松动，或者是垫圈损坏，查出后，把螺纹扳紧或调换垫圈。

(2) 安全活门漏气主要是活门垫料与弹簧的变形所致，一般只需调整弹簧或更换活门垫料。

(3) 减压器上盖有漏气时，为薄膜片损坏，应拆开更换。

(4) 调节螺杆在松开状态下，当低压室压力有缓缓上升现象时，这称为直风或自流，主要是活门上或阀座上有了垃圾或损坏。修理时将后部螺塞拆开，取出活门，去除垃圾或调换活门的密封垫就可解决。

(5) 遇到压力降落过大或压力回升过大时，主要原因也是活门副密封不良或有垃圾等，可按第 (4) 条同样方法进行修理。

(6) 在工作了一段时间后，发现气体供不上或压力表指针有较大摆动时，这是活门口产生了冻结现象（气体流动时吸热的缘故），可以用清洁热水、蒸汽等方法温热解冻，切不可用明火加温。

(7) 当压力表指针回不到零位或损坏时，应修理或更换后再用。

(8) 不熟悉减压器构造的工作人员，不要随便对其进行修理。

第二节　高压气瓶使用规程

(1) 禁止敲击、碰撞；气瓶应可靠地固定在支架上，以防滑倒。

(2) 开启高压气瓶时，操作者须站在气瓶出气口的侧面，气瓶应直立，然后缓缓旋开瓶阀。气体必须经减压阀减压，不得直接放气。

(3) 高压气瓶上选用的减压阀要专用，安装时螺扣要上紧。

(4) 开关高压气瓶瓶阀时，应用手或专门扳手，不得随便使用凿子、钳子等工具硬扳，以防损坏瓶阀。

(5) 氧气瓶及其专用工具严禁与油类接触，氧气瓶附近也不得有油类存在，操作者必须将手洗干净，绝对不能穿用沾有油脂或油污的工作服、手套及油手操作，以防万一氧气冲出后发生燃烧甚至爆炸。

(6) 氧气瓶、可燃性气瓶与明火距离应不小于10m；有困难时，应有可靠的隔热防护措施，但不得小于5m。

(7) 高压气瓶应避免曝晒及强烈振动，远离火源。

(8) 使用装有易燃、易爆、有毒气体的气瓶工作地点，应保证良好的通风换气。

(9) 气瓶内气体不得全部用尽，剩余残压❶即余压一般应为$2kg \cdot cm^{-2}$左右，至少不得低于$0.5kg \cdot cm^{-2}$。

(10) 各种气瓶必须定期进行技术检验。充装一般气体的气瓶，每3年检验1次；充装腐蚀性气体的气瓶每两年检验1次。气瓶在使用过程中，如发现有严重腐蚀或其他严重损伤应提前进行检验。盛装剧毒或高毒介质的气瓶，在定期技术检验同时，还应进行气密性试验。

第三节　高压气体钢瓶的漆色及标志

高压气体钢瓶的漆色与标志，参见表10-1。气瓶的漆色和标志示意图参见图10-4（见508页）。

表10-1　高压气体钢瓶的漆色与标志[①]

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
1	氢	H_2	深绿	氢	红	P=150不加色环 P=200黄色环一道 P=300黄色环二道
2	氧	O_2	天蓝	氧	黑	P=150不加色环 P=200白色环一道 P=300白色环二道
3	氨	NH_3	黄	液　氨	黑	
4	氯	Cl_2	草绿	液　氯	白	
5	空　气		黑	空　气	白	
6	氮	N_2	黑	氮	黄	P=150不加色环 P=200白色环一道 P=300白色环二道
7	硫化氢	H_2S	白	液化硫化氢	红	
8	碳酰二氯	$COCl_2$	白	液化光气	黑	
9	二氧化碳	CO_2	铝白	液化二氧化碳	黑	P=150不加色环 P=200黑色环一道
10	二氟二氯甲烷	CF_2Cl_2	铝白	液化氟氯烷-12	黑	
11	三氟氯甲烷	CF_3Cl	铝白	液化氟氯烷-13	黑	P=80不加色环 P=125草绿色环一道

❶ 关于剩余残压的说明。气瓶内贮存的气体品种很多，但不管是哪一种气瓶，在使用中都必须留有一定压力的余气，不得用尽，以使其他气体进不去。根据所装气体性质的不同，剩余残压也有所不同，如果已经用到规定的剩余残压，就不能再使用，并应立即将气瓶阀关紧，不让余气漏掉。因为气瓶所盛气体的纯度都有一定的要求，以保证气体质量和使用时的安全。如果气瓶不留余气，则空气或其他气体就会侵入气瓶内，使原有气体不纯，下次再充气使用时就会发生事故。例如氮气本身不燃不爆，广泛用于置换易燃、易爆气体（如氢气）以便进行化学反应或设备检修动火等。如果氮气瓶内进入空气，空气中含有氧气，因而氮气中也有了氧气。在用氮气置换时，就灌进了氧气，氧气如和易燃气体混合，势必发生危险。又在化学分析中对所用气体的纯度要求很高，稍有不纯，即影响数据的正确性而使工作失败。更重要的一点是：气瓶不留余气，可能侵入性质相抵触的气体。例如氢氧焰切割及氧炔焰焊割时，如果氢气瓶、乙炔气瓶或氧气瓶不留余压，则往往会发生氢气或乙炔灌入氧气瓶中，或氧气灌入氢气或乙炔气瓶中，当场发生爆炸事故。即使氢氧焰或氧炔焰熄火后形成的倒灌，当场虽未爆炸，但混有氧气的氢气瓶或乙炔气瓶或混有氢气、乙炔气的氧气瓶，在充气后再使用时，仍存在爆炸危险性。又如原子吸收分光光度分析用乙炔气瓶，也必须注意留有余压，谨防空气或其他性质相抵触的气体侵入乙炔气瓶中。

气瓶充气前，对每一只气瓶都要做余气检查，不留余气的气瓶失去了验瓶条件。对于没有余气的气瓶，充气前应严格的清洗，万一疏忽，充入了性质相抵触的气体，则后患无穷。可见气瓶剩余残压对安全生产有重大意义。

续表

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
12	四氟甲烷	CF_4	铝白	氟氯烷-14	黑	
13	二氟氯甲烷	$CHFCl_2$	铝白	液化氟氯烷-21	黑	
14	二氟氯甲烷	CHF_2Cl	铝白	液化氟氯烷-22	黑	
15	三氟甲烷	CHF_3	铝白	液化氟氯烷-23	黑	
16	二氯四氟乙烷	$CF_2Cl\text{-}CF_2Cl$	铝白	液化氟氯烷-114	黑	
17	六氟乙烷	$CF_3 \cdot CF_3$	铝白	液化氟氯烷-116	黑	P=80 不加色环 P=125草绿色环一道
18	三氟乙烷	CH_3CF_3	铝白	液化氟氯烷-143	黑	
19	偏二氟乙烷	CH_3CHF_2	铝白	液化氟氯烷-152a	黑	
20	二氟溴氯甲烷	CF_2ClBr	铝白	液化氟氯烷-12B₁	黑	
21	三氟溴甲烷	CF_3Br	铝白	液化氟氯烷-13B₁	LFO	P=80 不加色环 P=125 草绿色环一道
22	二氟氯乙烷	CH_3CF_2Cl	铝白	液化氟氯烷-142	红	
23	甲　烷	CH_4	褐	甲　烷	白	P=150 不加色环 P=200 黄色环一道 P=300 黄色环二道
24	乙　烷	C_2H_6	褐	液化乙烷	白	P=125 不加色环 P=150 黄色环一道 P=200 黄色环二道
25	丙　烷	C_3H_8	褐	液化丙烷	白	
26	环丙烷	CH_2—CH_2 ＼ ／ CH_2	褐	液化环丙烷	白	
27	正丁烷	正-C_4H_{10}	褐	液化正丁烷	白	
28	异丁烷	异-C_4H_{10}	褐	液化异丁烷	白	
29	乙　烯	C_2H_4	褐	液化乙烯	黄	P=125 不加色环 P=150 白色环一道 P=200 白色环二道
30	丙　烯	C_3H_6	褐	液化丙烯	黄	
31	1-丁烯	1-C_4H_8	褐	液化丁烯	黄	
32	异丁烯	异-C_4H_8	褐	液化异丁烯	黄	
33	1，3-丁二烯	1，3-C_4H_6	褐	液化丁二烯	黄	
34	氩	Ar	灰	氩	绿	
35	氦	He	灰	氦	绿	

续表

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
36	氖	Ne	灰	氖	绿	$P=150$ 不加色环
37	氪	Kr	灰	氪	绿	$P=200$ 白色环一道
38	氙	Xe	灰	液 氙	绿	$P=300$ 白色环二道
39	三氟化硼	BF_3	灰	三氟化硼	黑	
40	溴化氢	HBr	灰	液化溴化氢	黑	
41	氟化氢	HF	灰	液化氟化氢	黑	
42	氯化氢	HCl	灰	液化氯化氢	黑	
43	氧化亚氮	N_2O	灰	液化氧化亚氮	黑	$P=125$ 不加色环 $P=150$ 草绿色环一道
44	四氧化二氮	N_2O_4	灰	液化四氧化二氮	黑	
45	二氧化硫	SO_2	灰	液化二氧化硫	黑	
46	六氟化硫	SF_6	灰	液化六氟化硫	黑	$P=80$ 不加色环 $P=125$ 草绿色环一道
47	六氟丙烯	C_3F_6	灰	液化全氟丙烯	黑	
48	煤 气		灰	煤 气	红	$P=150$ 不加色环 $P=200$ 黄色环一道 $P=300$ 黄色环二道
49	乙烯基甲醚	$CH_2=CHOCH_3$	灰	液化乙烯基甲醚	红	
50	氯甲烷	CH_3Cl	灰	液化氯甲烷	红	
51	氯乙烷	C_2H_5Cl	灰	液化氯乙烷	红	
52	氯乙烯	$CH_2=CHCl$	灰	液化氯乙烯	红	
53	三氟氯乙烯	$CF_2=CFCl$	灰	液化三氟氯乙烯	红	
54	溴甲烷	CH_3Br	灰	液化溴甲烷	红	
55	溴乙烯	$CH_2=CHBr$	灰	液化溴乙烯	红	
56	氟乙烯	$CH_2=CHF$	灰	液化氟乙烯	红	$P=80$ 不加色环
57	偏二氟乙烯	$CH_2=CF_2$	灰	液化偏二氟乙烯	红	$P=125$ 黄色环一道
58	甲胺	CN_3NH	灰	液化甲胺	红	
59	二甲胺	$(CH_3)_2NH$	灰	液化二甲胺	红	
60	三甲胺	$(CH_3)_3N$	灰	液化三甲胺	红	
61	乙 胺	$C_2H_5NH_2$	灰	液化乙胺	红	
62	甲醚	$(CH_3)_2O$	灰	液化甲醚	红	
63	环氧乙烷	$CH_2—CH_2$ \ / O	灰	液化环氧乙烷	红	
64	其他气体		灰	气体名称	可燃的红不燃的黑	

①P 为气瓶设计压力，单位 $kgf \cdot cm^{-2}$（$1kgf \cdot cm^{-2}=98.0665kPa$），同一种高压液化气体，规定两个或两个以上充装系数的，应在色环下方注明该种气瓶的设计压力。字体高度不小于80mm.

气体中某一主要组分 $\varphi \geqslant 98\%$的为单一气体；气体中某一主要组分 $\varphi < 98\%$的为混合气体。

第四节　气体钢瓶的搬运、存放和充装

(1) 在搬运与存放时，气瓶上的安全帽应旋紧；气瓶上应装好两个防震胶圈。

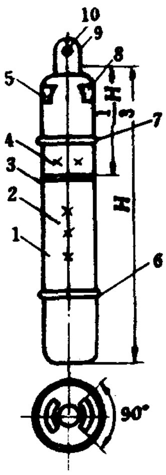


图10-4　气瓶的漆色、标志示意图

1—整体漆色(包括瓶帽)；2—所属单位名称；3—色环；4—全体名称；5—制造钢印（涂清漆）；6、7—防震圈；8—检验钢印（涂清漆）；9—安全帽；10—泄气孔

(2)气瓶装在车上应妥善加以固定。车辆装运气瓶一般应横向放置，头部朝向一方，装车高度不得超过车厢高。装卸时禁止采用抛、滑或其他容易引起碰击的方法。

(3) 装运气瓶的车辆应有明显的“危险品”标志。车上严禁烟火。易燃品、油脂和带有油污的物品，不得与氧气瓶或强氧化剂气瓶同车运输。所装介质相互接触后，能引起爆炸、燃烧的气瓶不得同车运输。

(4) 气瓶应存放在阴凉、干燥、远离火源（如阳光、暖气、炉火等）地方。

(5) 充装有毒气体的气瓶，或充装有介质互相接触后能引起燃烧、爆炸的气瓶，必须分室储存。

(6) 充装有易于起聚合反应的气体气瓶，如乙炔、乙烯等，必须规定储存期限。

(7) 气瓶与其他化学危险品也不得任意混放，参见表10-2。

(8) 气瓶瓶体有缺陷不能保证安全使用的，或安全附件不全、损坏或不符合规定的，均不应送交气体制造厂充装气体。

表10-2　高压气体钢瓶的分类储存规定

气体性质	气体名称	不准共同储存的物品种类
可燃气体	氢、甲烷、乙烯、丙烯、乙炔液化石油气、丙烯、甲醚、液态烃、氯甲烷、一氧化碳	除惰性不燃气体（如氮、二氧化碳、氖、氩）外，不准和其他种类易燃、易爆物品共同储存
助燃气体	氧压缩空气、氯（兼有毒性）	除惰性不燃气体和有毒物品（如光气、氯化苦、五氧化二砷、氰化钾）外，不准和其他种类的易燃、易爆物品共同储存
不燃气体	氮、二氧化碳、氖、氩	除气体、有毒物品和氧化剂（如氯酸钾、钠；硝酸钾、钠；过氧化钠）外，不准和其他种类的物品共同储存

第五节　几种压缩可燃气和助燃气的特殊性质和安全处理

一、乙　　炔

乙炔是将颗粒活性炭、木炭、石棉或硅藻土等多孔性物质填充在气瓶内，再将丙酮掺入，通入乙炔使之溶解于丙酮中，直至15℃时压力达$15.5 kg\cdot cm^{-2}$❶。国外曾有报道，在乙炔站充灌

❶ 指供原子吸收分光光度分析用。

乙炔瓶，当瓶压力到达23kg·cm^{-2}时，往往因容器密封不良会喷出气体。此时，操作人员采取措施制止气体喷出，由于衣服和人体摩擦发生静电，当手伸到容器附近，便产生放电火花，引起爆炸事故。

乙炔是极易燃烧、容易爆炸的气体。含有7%～13%（指体积分数，下同）乙炔的乙炔-空气混合气和含有大约30%乙炔的乙炔-氧气混合气最易爆炸。在未经净化的乙炔内可能含有0.03%～1.8%的磷化氢。磷化氢的自燃点很低，气态磷化氢（PH_3）在温度为100℃时就会自燃，而液态磷化氢（P_2H_4），甚至在稍低于100℃的温度下也会自燃。因此当乙炔中含有空气时，有磷化氢存在，就可能构成乙炔-空气混合气的爆炸起火。一般规定乙炔中磷化氢含量不得超过0.2%，而乙炔含量应在98%以上，硫化氢含量应小于0.1%。空气能剧烈地增加乙炔的爆炸性，应尽量地减少其含量。乙炔和铜、银、汞等金属或其盐类长期接触，会生成乙炔铜（Cu_2C_2）和乙炔银（Ag_2C_2）等易爆物质。因此，凡供乙炔用的器材（如管路和零件），都不能使用银和含铜量在70%以上的铜合金。乙炔和氯、次氯酸盐等化合会发生燃烧和爆炸。因此，乙炔燃烧时，绝对禁止用四氯化碳来灭火。存放乙炔气瓶处要通风良好，温度要保持35℃以下。充灌后的乙炔气瓶要静置24h 后应用，以免使用时受丙酮的影响。这种影响特别是表现在原子吸收分光光度分析中作为燃气时的火焰不稳，噪音增大，其原因之一就是受到丙酮蒸气的作用。为了防止气体回缩，应该装上回闪阻止器。

应当注意，当气瓶内还剩有相当量乙炔时（一般最低降低到1个表压），就需要换用另一只新乙炔气瓶。

在使用乙炔气瓶过程中，应经常注意瓶身温度情况。如瓶身有发热情况，说明瓶内有自动聚合，此时，应立即停止使用，关闭气门并迅速用冷水浇瓶身，直至瓶身冷却，不再发热为止。

二、氢　气

氢气无毒、无腐蚀性、极易燃烧，单独存在时比较稳定。但因其密度小，易从微孔漏出，而且它的扩散速度很快，易和其他气体混合。因此要检查氢气导管是否漏气，特别是连接处一定要用肥皂水检查。氢气在空气中的爆炸极限为4.00%～74.20%（体积分数），其燃烧速度比碳氢化合物等气体快，在常温和101.3kPa（1atm）下约为2.7m·s^{-1}（指氢气约占混合物的40%）。

存放氢气的气瓶处，一定要严禁烟火，远离火种、热源，储于阴凉通风的仓间。应与氧气、压缩空气、氧化剂、氟、氯等分间存放，严禁混储混运。

三、氧　气

氧气是强烈的助燃气体。纯氧在高温下是很活泼的，当温度不变而压力增加时，氧气可以和油类发生剧烈的化学反应而引起发热自燃，产生强烈的爆炸。例如一般工业矿物油与3.04×10^{3}kPa（30atm）以上的氧气接触就能自燃。因此氧气气瓶一定要严防同油脂接触。氧气瓶中绝对不能混入其他可燃气体或误用其他可燃气体气瓶来充灌氧气。由于氧气瓶一般是在20℃，1.52×10^{4}kPa（150atm）的条件下充灌的。氧气气瓶的压力会随温度增高而增高，因此要禁止在强烈阳光下曝晒，以免随着钢瓶壁温增高引起瓶内压力过高。实验室有时需用液态氧[❶]蒸发

---

❶ 关于使用液化气体应该注意点可参阅第一篇第二章第七节致冷剂的有关部分。

制得不含水分的气态氧。在这步操作中不要使液氧滴在手上、脸上或身体其他裸露部分。液氧滴在皮肤上，会引起烧伤或严重冻伤。由于液氧具有剧烈的氧化性能，因此处理液氧的工作地点，不能放置棉、麻一类碎屑。这类物质浸上液氧后，着火时会引起爆炸。操作人员身上应避免溅上液氧，因布和头发极易吸收氧气，吸氧后接触明火时，会发生燃烧。

四、氧化亚氮

氧化亚氮也称笑气，具有麻醉兴奋作用，因此使用时要特别注意通风。液态氧化亚氮在20℃时的蒸气压为5066kPa（50atm）。氧化亚氮受热时分解为含氧和氮的混合物，可燃性气体即可借混合物中的氧而燃烧。例如，原子吸收分光光度计就是使用氧化亚氮-乙炔火焰以行燃烧的，反应为：

$$5N_2O \longrightarrow 5N_2+\frac{5}{2}O_2 \quad H_{298}=-424.3\mathrm{kJ}$$

$$C_2H_2+\frac{5}{2}O_2 \longrightarrow 2CO_2+H_2O\ (\text{气}) \quad H_{298}=+1298\mathrm{kJ}$$

在此过程中氧化亚氮分解为含氧33.3%和氮66.7%的混合物，乙炔即借其中的氧燃烧。乙炔为吸热化合物，分解时将放出它在生成时所吸收的全部热量。但在氧化亚氮-乙炔火焰中发生的反应比一般火焰要复杂。燃烧时要严禁从原子吸收分光光度计的喷雾室的排水阀吸入空气，否则会引起爆炸。

主要参考文献

1. 中华人民共和国国家劳动总局公布. 气瓶安全监察规程. 1979.
2. 上海市化工轻工供应公司编. 化学危险品实用手册. 北京：化学工业出版社，1992.
3. 北京市劳动保护科学研究所情报组编. 安全技术与工业卫生专题资料. 1975.

第十一章　防毒和防放射性措施

第一节　防 毒 措 施

一、毒物与中毒的一般概念

由于某种物质侵入人体而引起的局部刺激或整个机体功能的障碍的任何疾病都称为中毒。凡可使人体受害引起中毒的外来物质则称为毒物。毒物是相对的，一定的毒物只有在一定条件下和一定量时才能发挥毒效引起中毒。例如某些药物，少量能起治疗作用，过量则能致人于死命。

个别的一些人，对于某些物质的作用有过敏现象，而这些物质对于大多数人却毫无害处。同样，各人对毒性物质的敏感性也不完全相同。毒物的一切说明和定义都是按照它对大多数人的作用而确定。凡侵入体内并能引起死亡的毒物的剂量称为致死量或致命剂量。

根据毒物引起病态的性质，中毒可分为急性、亚急性和慢性三类。大量毒物在短时间内侵入人体，或虽然毒物的侵入量不大，但机体对此毒物较敏感，常在几分钟、几小时至几十小时内发生明显的中毒症状，如不及时抢救，严重者可致死，称为急性中毒。少量毒物长时间反复侵入人体，由于毒物的蓄积及反复作用，经过几个月或几年以后逐渐发生中毒症状，称为慢性中毒。亚急性中毒则介于急性和慢性中毒之间。

影响中毒的因素很多，与毒物的理化性质，侵入人体的数量，作用的时间，以及侵入的途径等均有关系，与受侵害的人体本身的生理状况也有密切影响。有的毒物极小量即可引起中毒，如氰化物；但也有的毒物需相当量才能引起中毒。凡毒物量愈大，接触时间愈长，则引起的中毒一般都较深。此外，各人的年龄、体质、耐受力、习惯性均有所不同，因而对中毒的反应差异也大。

为了预防在分析实验室内使用毒性物质时的偶然中毒，应当知道毒物可能经过什么途径侵入体内以及各种毒物的作用，采取有效措施以免中毒，万一中毒也可尽快加以急救，摆脱危险。

二、毒物侵入人体的途径和被吸收的情况

大部分毒物是在生产和实验过程经过呼吸道吸入，例如各种有毒气体、蒸气、烟雾或灰尘（如一氧化碳、氢氰酸蒸气、磷的粉尘或烟雾等)。另一些毒物经由消化道侵入，主要原因除了误服外，有时是由于手上沾染毒物，于吸烟或进食时咽入而中毒。此类毒物以剧毒的粉剂最为常见，如砷化物、氰化物等。还有几种毒物可以通过皮肤、粘膜吸收而中毒，如汞剂、苯胺类、硝基苯等。此外，还有一些毒物仅对皮肤、眼、鼻、咽部粘膜产生刺激作用。皮肤上的伤口如沾上毒物，可以直接侵入，进入血流。

毒物无论从皮肤、消化道或呼吸道吸收以后，逐渐侵入血流而分布于身体一些部位。其中由皮肤侵入的通过毛囊吸收，比较缓慢。经消化道侵入者在消化道吸收后进入血流，从呼吸道侵入的多在肺泡中吸收，因此中毒都比较迅速。

毒物在人体内经过各种物理与化学的变化，通常经肝脏的解毒作用，大部分通过肾脏随尿排出。挥发性气体可以由呼吸道排出。某些不溶解的金属盐则由粪便排出，还有一些毒物可随皮肤汗腺、皮脂腺、唾液、乳汁等排出。没有或不能及时排出的毒物，在体内与新陈代谢各种产物的急剧化合，会发生不同程度的中毒症状，以至死亡。

慢性中毒的一些毒物可以在人体的肝脏、脂肪组织、骨骼、肌肉与脑内产生积聚作用。当毒物积聚到一定程度时，即在临床方面表现为中毒症状。

为此在生产与实验过程中，应该尽可能避免或减少与毒物直接接触的可能性，注意现场的通风条件，将空气中的毒物含量控制在阈限浓度（或最高许可浓度）以下，注意加强自身或周围的防护装备与设备，遵守预防原则与防护操作规程等，以防止毒物侵入人体或损害各器官。

三、预防原则

除在第七章述及的分析实验室防止中毒方面的安全守则外，还应遵守下述预防原则：

(1)用无毒或少毒的物质来代替毒物，是预防中毒的最根本方法。例如水中微量砷的测定，二乙基二硫代氨基甲酸银-吡啶法比较灵敏，但吡啶不仅气味难闻，而且毒性很大，因此可考虑改用二乙基二硫代氨基甲酸银-盐酸麻黄素氯仿法，后者的灵敏度与前法接近，但毒性大为减小。

(2) 借助于车间或分析实验室的良好通风和有毒气体离析逸出处所污染空气的排出（通过通风橱，或用真空泵、水泵连接于发生器），防止吸入有毒气体、蒸气、烟雾和灰尘等，是预防有毒物质最可靠的方法之一。

必须指出实验室内广泛应用的各种有机溶剂，其中很多是有毒的，人体吸入这类溶剂的蒸气时就会中毒（见表11-1），不仅对呼吸系统有害，对心血管、造血机能及神经系统都有损害，因此千万不可粗心大意。

表11-1 挥发性溶剂的毒性作用及许可的浓度界限（最高容许浓度）

第一类	第二类	第三类	第四类
属于这一类的是生产和实验条件下不遵守预防规程时引起麻醉现象的急性中毒的溶剂，许可的浓度界限为0.2mg·L^{-1}(或以上)；如汽油(0.3mg·L^{-1})和醇(乙醇—1mg·L^{-1}；丙醇、丁醇—0.2mg·L^{-1})，丙酮、乙醚、酯(乙酸戊酯、乙酸乙酯、乙酸丁酯)，氢化萘(十氢化萘—(0.1～0.2)mg·L^{-1}，四氢化萘)，乙二醇	属于这一类的溶剂毒性较大，如甲醇、乙酸甲酯、四氯化碳、二氯乙烷、三氯乙烯、氯苯、噁烷，这类溶剂在生产和实验条件下不遵守安全规程时，大多数引起急性中毒，在很多情况下则引起严重的中毒，此时除了麻醉的症状常常使神经及其他系统受到损害，在这类物质浓度不大时，长期影响下则可招致慢性中毒。许可的浓度界限为0.5mg·L^{-1}	属于这一类的溶剂，其毒性都很大，如二硫化碳、苯、甲苯、二甲苯，除了麻醉症状的急性中毒外，并在造血或神经系统内引起持久变化的慢性中毒，许可的浓度界限：二硫化碳为0.01mg·L^{-1}，苯、甲苯和二甲苯为0.1mg·L^{-1}	属于这一类的是特别危险的物质，如使用时不加小心会引起沉重的和致命的中毒。这些物质在保证1L空气中只有千分之几mg的蒸气浓度条件下才能使用，这类物质如四氯乙烷和五氯乙烷

(3) 注意遵守个人卫生和个人防护规程　绝对禁止在使用毒物或有可能被毒物污染的车间和实验室存放食物、饮食或吸烟。在不能保证毒物不落在衣服或身上的条件下进行工作时，下班后应洗澡，并换去工作服（包括胶皮靴等）。不许将穿用衣服和工作服叠放在一起。在工作时间内只有经过仔细洗手或漱口（必要时用消毒液）后才能在指定的房间用膳和饮水，平时经常洗浴，保持个人卫生。

在必要的情况下，应按规定戴防护眼镜，穿防护工作服、胶皮靴，戴手套，在有毒气体

可能出现的场所，必要时应戴双层口罩或各型防毒面具，在可由皮肤吸收的毒物的场所进行工作时，应穿橡皮服和戴橡胶手套等。

（4）定期体格检查　根据接触毒物的工种进行针对性的定期体格检查（包括验血及X线检查），以便发现病情及时治疗。

（5）根据国家劳动保护条例，按接触毒物的工种，适当缩短工作日和增加必要的营养，以增进工作人员对毒物的抵抗力。

四、防毒口罩与防毒面具

（一）防护口罩与防毒面具中所用的过滤性防毒物质

一般防护可以使用双层纱布口罩内夹过滤性物质，或使用带有滤盒（或滤毒罐）的防毒面具。使用的过滤性防毒物质主要有下面几种：

（1）防护酸性气体（如氯、硫化氢、氰化氢、二氧化氮、氯化氢、二氧化硫、三氧化硫、光气）——用氢氧化钠与氢氧化钾、弱酸盐（如碳酸钠），并加用活性炭。

（2）防护氨气，肼蒸气——用硼酸、柠檬酸、强酸的酸性盐类（如硫酸氢钠），能与氨和肼络合的重金属氧化物和盐类（如氧化铜、硫酸铜等）。

（3）防护有机芳香烃类蒸气——用活性炭。

（4）防护醛、酮、卤代烃类蒸气——用氢氧化钾或氢氧化钠、碳酸钠，加用活性炭。

（5）防护氰化物蒸气——用某些金属的氢氧化物和盐类（如氢氧化铝、硫酸铜）。

（6）防护一氧化碳——用二氧化锰加氧化铜。

（7）防护砷、锑化合物蒸气——用二氧化锰、次氯酸盐或过氧化钠等。

（8）防护重金属蒸气——用氧化剂（如次氯酸盐），加用活性炭。

（二）防毒面具的组成与构造

防毒面具一般由滤毒罐（滤盒）、带导气管的头带式面罩、面具袋等。其剖视示意图11-1。

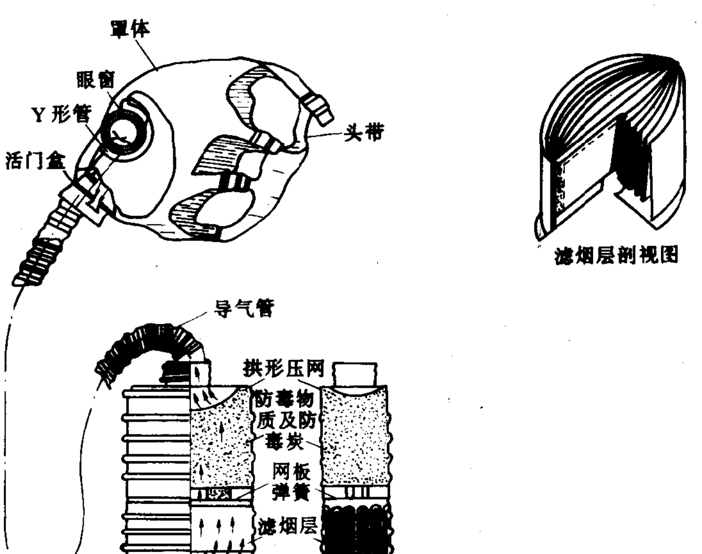


图 11-1　防毒面具剖视示意图

滤毒罐（或滤盒）为椭圆柱形（或圆筒形）。罐内沿气流方向装有过滤毒烟的滤烟层和吸收有毒气体或蒸气的装填层，采用层装式[1]。滤烟层是由特制的滤烟纸折叠而成使之有较大的有效过滤面积（大的达1500cm^2左右）。装填层是用直径为1mm 上下的活性炭（或防毒炭）加上述特殊过滤性防毒物质装填而成，重量约400g 上下，在装填层的上面有两层金属的拱形压网，拱的凸出面朝下，其作用是压紧装填层和增加罐壁装填层的厚度，从而减少有毒气体蒸气沿罐壁的渗透。为了防止装填层的炭粉等被吸入面罩，在这两层压网内还夹有一张丝棉垫纸。在装填层的下面也装有一块可垂直移动的弹簧网板，下网板卡在罐壳内的凸棱上。这样装填层始终被均匀压紧，不致因运输和使用而造成装填层中活性炭等的移动和磨碎。

滤毒罐的罐壳是由黑铁皮制成。罐颈带有螺纹，用以连接导气管。罐底有进气孔，内有一挡板，用以保护滤烟层和分散吸入的气流，为了保证罐壳有必要的坚固性，其上有几道（5～8道不等）外凸棱。

面罩由罩体、眼窗、Y 形管、活门盒、导气管等组成。面罩的罩体是天然橡胶制成，橡皮厚度根据实际需要，面部要略厚一些，头部要柔软一些、弹性好，便于折叠和佩戴。罩体内有Y 形管使吸入的空气先经过眼窗以促使凝结在眼窗的水汽蒸发。

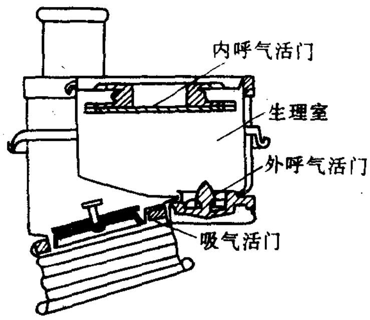


图 11-2　面罩活门盒

面罩下部装有一个包括呼气活门和吸气活门的活门盒，吸气活门、呼气活门均为单向活门，其构造如图11-2所示。

吸入空气由吸气活门引入 Y 形管。呼出的废气不再经过滤毒罐，而由呼气活门直接排出。这样，既能降低呼气阻力，又可避免滤毒罐装填层受潮。两道呼气活门之间的空间称为生理室，容积约为50cm^3，它的作用是将经外呼气活门漏入的污毒空气稀释；这样，经内呼气活门漏入面罩的毒剂浓度就小得多，从而提高了面具的气密性。这种两道呼气活门的结构，还有利于保护呼气活门免受损伤。

属于面罩部分的还有导气管，导气管的自然长度为60cm，断面的最小直径为2cm。两端装有金属或塑料的螺纹接头，分别与滤毒罐和面罩相连接。为防止导气管压瘪妨碍呼吸，做成波纹形。为增加导气管强度并防止橡皮老化，在橡皮管外包有一层针织布，导气管橡皮连同针织布的总厚度为1mm。

面具袋用帆布制成，主要是为了携带和保护面罩及滤毒罐，面罩和滤毒罐分别装在面具袋的两个小格内，除了避免挤压以外，主要用以固定滤毒罐。在面具袋的底部固定有两根支撑滤毒罐的小木条，以便空气能自由进入滤毒罐，因此面具袋还对空气中的灰尘起了预滤的作用。

（三）防毒面具的使用简则

使用防毒面具时必须遵守下列规则：

（1）凡有必要使用防毒面具的化验室内的一切工作人员，都应当好好学习使用规则，并且要善于检查它的气密性。气密性检查的方法是：首先正确地戴好面具，然后用手堵住滤毒罐

[1] 也有采用套装式的，外层为滤烟层，里层是装填层。

进气孔，同时用力吸气，若感到闭塞不透气，则说明面具基本上是气密的，否则，需按下列步骤进行检查。

检查面罩　可用手捏住导气管上端，另一手堵住呼气活门的出气孔，然后用力吸气，如感到闭塞，则证明面罩是气密的；否则说明面罩有损坏或佩戴不合适。

检查呼气活门　在面罩气密性良好的基础上，进行呼气活门检查。此时将堵住呼气活门的手松开，用力吸气，仍感到闭塞，则说明呼气活门是气密的；反之，则说明呼气活门漏气。

检查导气管　捏住导气管的下端，或堵住导气管下端进气口，用力吸气，若感到闭塞，则导气管是气密的；反之，则导气管漏气。此时可对导气管进行逐段检查，确定漏气部位。

如果经上述检查后，证明各部件良好，若面具仍有漏气现象，则可能是滤毒罐漏气，则应更换滤毒罐再检查。

在检查过程中，对所发现的损坏或漏气部位，均应作出记号，以便及时修理或更换零、部件。

(2) 防毒面具的面罩须按照使用者头部的大小选择。

(3) 必须定期检查面罩的气密性。

(4) 防毒面具必须具备使有毒害气体（或蒸气）不致为害的滤毒罐。

(5) 滤毒罐经长期使用后或在有高浓度有毒气体（或蒸气）的空气中工作后应予更换。

(6) 如果在有毒的空气中，氧供应不足（低于16%）或工作时的空气不知被何种毒物（或气体）沾污时，则不得使用一般的过滤式的防毒面具，在这种情况下应该使用氧气呼吸器。

(7) 防毒面具存放在仓库内时，滤毒罐下面进气孔应该封好，否则滤烟层、装填层的吸收性能逐渐减弱。

充分研究防毒面具的组成、构造和性能以后，便易于掌握这些简则，遵守这些简则就可使自己在工作过程免于受到有毒气体或蒸气（包括烟雾等）的危害。

五、汞中毒的预防

汞是在温度不低于$-39^\circ C$能保持液态的唯一金属，汞对空气和一些其他试剂的作用有相当的稳定性。液态汞有很好的流动性并具有高度的导电率，因此汞成为很多仪器中最需要的物质之一。然而，汞易挥发，它的蒸气极毒，经常与少量汞蒸气接触能引起中毒。一般说汞蒸气在空气中的含量达到$1\times10^{-5}mg\cdot L^{-1}$时，就要发生中毒。汞的毒性是积累性的，它能逐渐贮积于体内。如果每日吸收0.05mg～0.1mg的汞蒸气，数月之后就有可能发生汞中毒，这对于从事极谱分析工作者尤其应引起重视。

（一）使用汞时的注意事项

(1) 使用汞工作时，不许用薄壁玻璃容器和一些薄壁管。因为汞的比重大，这些薄壁玻璃容器和管子不够坚实极易损坏，使汞洒出和泼溅以致难以收拾。既使厚壁的，如果注入汞过分迅速时也能将它打碎。因此向管内或容器注入汞时应该使用特制的坚实的具有长端的漏斗。向高形器皿内注入汞时，最好使器皿略略倾斜，而器皿底部用柔软的衬垫垫稳，然后将汞沿着器皿壁缓缓注入以防溅出。

(2) 应该尽可能避免在敞开的容器内使用，因在室温时每立方米为汞饱和的空气含（15～20）mg汞，已大大超过极限容许浓度。若用汞做搅拌器的封闭液时，必须注意勿使汞逸出。在热的设备上，切不可用汞作封闭液，如有可能，用水或油把汞掩盖起来。

(3) 汞旁不要放置发热体，绝对不要在烘箱中烘汞，因汞蒸气压随温度的升高而增加颇

快。不同温度下的汞蒸气压及其在空气中的浓度见表11-2。

表11-2 不同温度下的汞蒸气压及其在空气中的浓度

温度 t/℃	P(汞蒸气)/Pa	$c_{汞}$/mg·L^{-1}	$\varphi/10^{-6}$
20	0.159	0.015	2
30	0.373	0.034	4
40	0.813	0.07	8.5
60	3.33	0.35	42.5
100	36.4	3.3	400
200	2 310	213	25 800
300	32 900	2 900	348 000

（4）装汞的仪器下面一律放置浅瓷盘，使得在操作过程中偶然洒出的汞滴不至散落桌上或地面。

（5）经常使用汞的实验室的排风扇最好装在墙脚，地板要无缝，否则留存的细小汞滴将慢慢地蒸发，长期毒化实验室内的空气。汞的蒸发与表面积大小有很大关系，如果汞的表面没有氧化，蒸发速度与汞滴的半径成反比例。汞的细滴的危险性比整滴和整体的汞要大得多，因此使用时要尽量避免汞洒出。

（二）极谱室防止汞蒸气中毒的简则及拾汞简单装置

（1）极谱室应通风良好，必须装有排风设备。汞的蒸馏应在室外或单独房间中进行。

（2）实验操作前应检查仪器安放处或仪器连接处是否牢固，橡皮管或塑料管的连接处一律用铜线缚牢，以免在实验时脱落使汞流出。

（3）室中一切汞不能暴露在空气中，或将其盖紧，或在其面上放水。

（4）尽量防止汞自容器和毛细管上洒滴在桌上，尤其是地上。为此将盛汞的容器、储汞瓶及滴汞电极装置放在瓷盘或特制的水泥台上。

（5）如果汞滴在外面，立即用汞夹、收集洒出汞的吸管或拾汞棒将所有微小的汞滴拣起，然后喷上用盐酸酸化过的 w=0.1%高锰酸钾溶液（每升这种高锰酸钾溶液中加5ml浓盐酸）过（1～2）h后再清除；或喷上 w=20%三氯化铁水溶液让其自行干燥，干燥后再消除。特别应该指出的是三氯化铁水溶液为对汞具有乳化性能并同时可将汞转化为不溶性化合物的一种非常好的去汞剂。但金属器物（除铅质外）上面有汞的细滴时，则不能用三氯化铁除汞，因金属本身会受这种溶液的作用而损坏。要清除落在地上的汞，也可撒硫磺粉，将汞洒落地区覆盖一段时间（此时生成硫化汞），再设法扫净。

（6）在实验中，擦过汞齐或汞的滤纸或布必须放在有水之瓷缸内。

（7）极谱室中每日排气1次，每次0.5h；每次进入极谱室工作时，必须先排气0.5h后才进行工作。

（8）极谱室中严禁吸烟、饮食，伤口处切勿与汞接触。

（9）注意个人卫生，工作完毕要洗手，每日洗刷口腔数次，多运动，增吃蛋白质，定期检查身体。

（10）拾汞棒（或刷）的制备：将直径0.2mm的铜丝或0.1mm厚的条形铜片，浸入用硝酸酸化过的硝酸汞溶液中，这时汞即镀在铜丝（片）上成为拾汞棒（或刷）。洒出或挥发而沉积在桌上、地上的汞可用拾汞棒加以摩擦收集。

（11）收集洒出汞的移液管或吸管的简单装置如图11-3所示。

（三）用气体消除汞的毒害

进行蒸馏汞或其他有汞蒸发工作的房间，如果仅在工作处和地板上去掉汞，则经过一段时间后墙壁与天花板将被汞污染（粉浆或油漆都容易吸着汞蒸气）。这时，若使用液体以去除墙壁和天花板上的汞剂很不方便，而用硫化氢去汞则比较方便。用它消除汞的毒害，主要是利用生成硫化汞，使之成为阻碍液体汞蒸发的薄膜。将需要消除汞毒的房间仔细关闭，然后用

0.5mg·L^{-1}浓度的硫化氢充满空间，维持40h（当然不能忘记硫化氢本身的毒性，它的极限容许浓度为10mg·m^{-3}），事后应充分排风。也有人主张用排放到空气中低于卫生标准许可的氯来消除空气中的汞蒸气，但用氯去汞的缺点是对金属零件的腐蚀性很大，特别是有水分存在时，反应更为迅速。

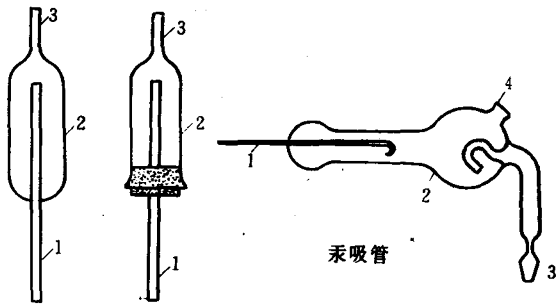


图 11-3 汞的移液管

1—收集汞的管；2—盛收汞的部分；3—连接梨形橡皮球或真空泵（即气泵）；4—密封塞

（四）工作服上的汞和汞有机化合物的消除

由于汞及其化合物中毒的积累特性，对于接触汞及其化合物的分析人员应特别注意工作服的清洁。衣服如被金属汞滴沾污时，应在室外适当地点，将它垂直地抖落15min以上，然后将工作服在$w=2.5\%$肥皂溶液和$w=2.5\%$碳酸钠溶液内洗涤30min左右，并须更换3次洗涤液，最后再在热水内冲洗干净。

为了消除工作服上的乙基氯化汞，用$w=0.5\%$碳酸钠溶液在30min内洗涤3次就可以了。为清除二乙基汞，可用（120～130）℃的热蒸汽把工作服蒸馏2h。如果工作服同时被乙基氯化汞、二乙基汞、金属汞和氯化汞沾污时，则应先用热蒸汽再以$w=2.5\%$肥皂溶液和$w=2.5\%$碳酸钠洗涤相继进行，条件同清除汞的“洗涤”和二乙基汞气体的“蒸馏除去法”。

在此必须提及的是汞-有机化合物要比汞蒸气及其盐类更危险，它的中毒发展最快。

第二节　防放射性措施

一、有关名词的解释、特有的单位系统和换算

（一）放射性同位素与稳定性同位素

有放射性的同位素称为“放射性同位素”，没有放射性的同位素就称为“稳定性同位素”。例如$^{31}_{15}P$、$^{59}_{27}Co$，它们不放出射线，没有放射性，所以是稳定性同位素；而$^{32}_{15}P$、$^{60}_{27}Co$能放出射线，有放射性，所以是放射性同位素。在通常情况下，元素左下角的原子序数可不写出，只写出元素左上角的原子质量数就行，如^{32}P、^{60}Co等。

（二）放射性同位素制剂及放射性化工制品、辐射源、检查校正源、标准源、中子源

1. 放射性同位素制剂及放射性化工制品　含有放射性同位素的化学制品，称为“放射性同位素制剂（或放射性化学试剂）及放射性化工制品”，如含有放射性同位素的酸、碱、盐类和有机化合物类等。

2. 辐射源　放射性强度较大的固体或液体的放射性同位素，通常称为“辐射源”，它是用金属或其他容器封闭着，常见的辐射源有^{60}Co、^{90}Sr、^{137}Cs、^{204}Tl等。

3. 检查校正源　专供给检查和校正测量放射性的仪器、仪表的放射源，称为“检查校正源”，常见的也是^{60}Co、^{90}Sr等。

4. 标准源　在核物理、放射化学、生物学、医学、地质勘探和工农业部门中，经常需要用一些强度已知的放射源，作为同类型放射源的基准。这些可作为基准的放射源，称为标准源。把未知强度的放射源与标准源加以比较，通过比较测量，便可简便而准确地得到待测放射源的强度。一般要求标准源的强度应较稳定，强度测量的准确度应较高。

5. 中子源　由某两种元素（其中一种为放射性元素）混合，而能不断放射出中子的源，称为“中子源”。如镭-铍中子源、钋-铍中子源等。

（三）放射性活度、剂量、吸收剂量、照射量、吸收剂量率、剂量当量、最大容许剂量当量和最大容许剂量

1. 放射性活度　衡量放射性物质（放射源）放出射线量的大小的一种物理量，通常称做“放射性活度”，SI单位（国际单位制）以“贝可”表示，符号是“Bq”。1贝可表示在1s内发生了一次核衰变。

旧的放射性活度专用单位是“居里（Ci）”或“克镭当量”。

居里：当放射性核素在1s内发生3.7×10^{10}次核衰变时，其放射性活度就是1Ci。

1居里（Ci）$=10^3$毫居里（mCi）$=10^6$微居里（μCi）$=3.7\times10^{10}$贝可（Bq）

克镭当量：是用来表示γ射线的放射性活度的。凡放出γ射线的物质同1g镭（与其衰变的子体成平衡，并且放置于0.5mm厚的铂管内）在同样的条件所引起的电离作用相等时，则其放射性就叫做1克镭当量。

1克镭当量＝1000毫克镭当量

1毫克镭当量＝1000微克镭当量

对于放出γ射线的放射性物质来说，居里和克镭当量这两个单位是可以互相换算的，表11-3中列出了常用放射性同位素1mCi相当的毫克镭当量数。

2. 剂量　电离辐射作用于生物体时，能引起各种生物效应。剂量一词是借用医学上的术语，用来度量射线对物质或生物体的作用程度。在医学上应用药物治疗疾病，或确定药物毒性时，需要掌握使用的药物量即药物剂量。同样，在应用射线治疗疾病或防御它的有害作用时，也需要知道人体受到了多少照射，这就是辐射剂量这一概念的由来。但是怎样来衡量照射的多少，是一个很复杂的问题。随着辐射剂量学的发展，“剂量”这一名词的确切涵义经历了不少演变，在历史上曾经提出过各种各样的剂量单位。为了避免混淆，国际辐射单位与测量委员会在1962年的报告书中提出建议，把剂量这个名词仅仅用来指“吸收剂量”。

3. 吸收剂量（符号为D）　为“致电离辐射”授予某一体积单元中物质的平均能量除以体积单元中物质的质量的商，即$D=\frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$。其中$d\bar{\varepsilon}$即电离辐射给予一个体积单元中物质的平均能量，$dm$即该体积单元中物质的质量。SI单位为焦·千克$^{-1}$，用符号$J\cdot kg^{-1}$表示，专门名称为戈（瑞），用符号Gy表示。

$$1戈瑞（Gy）=1J\cdot kg^{-1}。$$

4. 照射量（符号为X）　是dQ除以dm所得的商，其中dQ为光子在质量为dm的某一体积单元的空气中释放的所有电子（负电子和正子）在空气中全部被阻时，产生一种符号的离子总电荷的绝对值：即$X=dQ/dm$。照射量或称辐照量的SI单位为库·千克$^{-1}$，用符号$C\cdot kg^{-1}$表示。

5. 吸收剂量率（符号为$\dot{D}$）　简称剂量率。定义为某一时间间隔dt内吸收剂量的增量除以该时间间隔的商，即$\dot{D}=dD/dt$。其专用单位是戈瑞或其倍数或分倍数除以适当的时间单位所得的商，如戈瑞·秒$^{-1}$（$Gy\cdot s^{-1}$）等。

6. 剂量当量（符号为H）　一般地说，某一吸收剂量的生物效应与射线种类以及照射条件有关。例如在相同的吸收剂量下，α射线对生物机体的危害程度要比X射线约大十倍，这个倍数以前叫做相对生物效应系数，现在称为线质系数或称性质因数（Q）。为了防护的目的，便

于将人体所受的各种电离辐射剂量统一衡量，采用了剂量当量这一术语。剂量当量定义为生物组织内被研究的一点上的吸收剂量（D），线质系数（Q）和其他修正因数（N）的乘积，即剂量当量 $H=DQN$。剂量当量（H）的 SI 单位为希沃特（Sv）。

表11-3　常用放射性同位素

同位素名　称	符号	半衰期	主要放射　型	射线能量 MeV②	1mCi 相当的毫克镭当量	同位素名　称	符号	半衰期	主要放射　型	射线能量 MeV②	1mCi 相当的毫克镭当量
^{3}氢	^{3}H	12.26a	β	0.019		^{110m}银	^{110m}Ag	253d	γ	1.5	1.72
^{7}铍	^{7}Be	53.37d	κ	0.48	0.037	^{115m}镉	^{115m}Cd	43d	γ	0.95	0.13
^{14}碳	^{14}C	5730a	β	0.155		^{114m}铟	^{114m}In	50.0d	γ	0.19	0.023
^{22}钠	^{22}Na	2.602a	γ	1.3	1.49	^{113}锡	^{113}Sn	115d	κ、γ	0.39	0.20
^{32}磷	^{32}P	14.3d	β	1.7		^{124}锑	^{124}Sb	60.3d	γ	1.71	1.07
^{35}硫	^{35}S	88d	β	0.17		^{127}碲	^{127}Te	9.4h	γ	0.09	0.049
^{40}钾	^{40}K	1.28×10^{9}a	γ	1.46	0.096	^{131}碘	^{131}I	8.07d	γ	0.36	0.27
^{45}钙	^{45}Ca	165d	β	0.26		^{134}铯	^{134}Cs	2.05a	γ	0.79	1.18
^{46m}钪①	^{46m}Sc	20s	γ	1.12	1.32	^{137}铯	^{137}Cs	30.23a	γ	0.66	0.42
^{48}钒	^{48}V	16.0d	γ	1.33	1.87	^{140}钡	^{140}Ba	12.8d	γ	0.54	0.3
^{51}铬	^{51}Cr	27.8d	γ	0.32	0.018	^{144}铈	^{144}Ce	284.9d	γ	0.13	0.03
^{54}锰	^{54}Mn	303d	γ	0.84	0.58	^{147}钷	^{147}Pm	2.5a	β	0.23	
^{59}铁	^{59}Fe	45.1d	γ	1.30	0.74	^{155}铕	^{155}Eu	1.81a	γ	0.1	0.02
^{56}钴	^{56}Co	77d	γ	2.17	1.19	^{153}钆	^{153}Gd	242d	γ	0.1	0.03
^{60}钴	^{60}Co	5.26a	γ	1.25	1.57	^{170}铥	^{170}Tm	128.6d	γ	0.08	0.0039
^{63}镍	^{63}Ni	92a	β	0.06		^{181}铪	^{181}Hf	42.4d	γ	0.61	0.37
^{64}铜	^{64}Cu	12.9h	γ	1.34	0.14	^{185}钨	^{185}W	75.8d	β	0.43	
^{65}锌	^{65}Zn	243.6d	γ	1.12	0.34	^{185}锇	^{185}Os	94d	γ	0.65	0.48
^{77}砷	^{77}As	38.83h	β	0.7		^{192}铱	^{192}Ir	74d	γ	0.31	0.59
^{75}硒	^{75}Se	120.4d	κ	0.27	0.18	^{198}金	^{198}Au	2.696d	γ	0.41	0.29
^{82}溴	^{82}Br	35.5h	γ	1.35	1.76	^{203}汞	^{203}Hg	46.57d	γ	0.28	0.15
^{86}铷	^{86}Rb	18.66d	γ	1.08	0.062	^{204}铊	^{204}Tl	3.78d	β	0.78	
^{89}锶	^{89}Sr	52d	β	1.5		^{210}铅	^{210}Pb	21a	γ	0.05	0.0017
^{90}锶	^{90}Sr	28.1a	β	0.54		^{210}钋	^{210}Po	138.38d	α	5.30	
^{95}锆	^{95}Zr	65d	γ	0.75	0.50	^{226}镭	^{226}Ra	1600a	γ	0.18	
^{95}铌	^{95}Nb	35.15d	γ	0.76	0.53	^{228}钍	^{228}Th	1.913a	γ	0.22	0.0014
^{99}锝	^{99}Tc	2.12×10^{5}a	γ	0.30		铀	U	几亿 a	α		
^{106}钌	^{106}Ru	367d	β	0.04		^{239}钚	^{239}Pu	2.439×10^{4}a	α		
^{105}铑	^{105}Rh	35.9d	γ	0.32	0.011						

① 同位素质量数旁注有 m 者为同质异能素。有为数不多的同位素可以在它的某一激发态停留着一个较大的时间，这样的激发态称为亚稳态（metastable state），处在亚稳态的同位素则称为同质异能素。某些资料上也有用质量数旁注以 * 号来表示同质异能素的。

② 电子伏特（eV）：物理学中用来量度微观粒子能量的一种单位。其定义为：1个电子通过电势差为1V 的电场时所获得（或减少）的能量。$1eV=1.602\times10^{-19}J$，在核物理中常用它的一百万倍即百万电子伏特（MeV）也叫做兆电子伏特作为能量单位。

此量限用于辐射防护方面，但不能用于高水平的事故照射。在国际辐射单位与测量委员会（ICRU）的第十九号报告中介绍了线质系数（Q）对线能量转移（LET）的相互关系。对于外照射，N（其他修正因数）目前被定为1。

线质系数（Q）与线能量转移（LET）的关系如下：

线能量转移，在水中每微米损失的能量/keV	线　质　系　数
≤3.5	1
7	2
23	5
53	10
175	20

为便于应用，将不同射线的线质系数Q简化如表11-4。

表11-4 不同射线的线质系数（Q）①

照射类型	射线种类	线质系数
外照射	X、γ电子	1
	热中子及能量于0.005MeV②的中能中子	3
	中能中子（0.02MeV）	5
	中能中子（0.1MeV）	8
	快中子（0.5—10MeV）	10
	重反冲核	20
内照射	β^-、β^+、γ、e^-、X	1
	α	10
	裂变过程中的碎片，α发射过程中的反冲核	20

① Q值只限容许剂量当量范围内使用，不适于大剂量及大剂量率的急性照射。

② $1MeV=1.602\times10^{-13}J$。

7.最大容许剂量当量和最大容许剂量　为了确保人身安全，规定一个每人在一定时间内所受射线照射对人身健康没有危害的最大容许标准，这种剂量当量标准称为“最大容许剂量当量”，在国家标准“放射防护规定”GBJ8—74第二章有所规定。不少国家采用下表中所列的最大容许剂量标准，它是按每人每天所受射线照射对人身健康没有危害的最大容许标准，这种剂量标准则称为“最大容许剂量”：

射线类型	每日最大容许剂量/伦
X、β、γ射线	0.05
α射线、快中子	0.005
热中子	0.01

必须指出，最大容许剂量当量标准或最大容许剂量标准是会随着科学的发展而有所变化的。

（四）外照射与内照射（或称外部照射与内部照射）

外照射是指射线在身体外表面的照射，而内照射是由于防护不当放射性物质被吸入（呼吸道），吃进（消化道）或从伤口、皮肤和粘膜等处侵入人体内所引起的照射。内照射的危险性从某种意义上来说，要比外照射大得多。因为人们可以设法使外照射减低到安全水平以下，同时还可尽量地不停留在可能遭受放射性的地点，然而这一些对于内照射来说都是办不到的。对于内照射来讲，从伤口进入比吸入危险，而吸入又比吞咽危险。虽然如此，但就防护的观点而论，应该根本不让放射性物质通过任何方式进入人体。

二、射线对人体的影响及其防护❶

（一）射线对人体的影响

表明放射性元素特征的三种辐射中，α射线具有显著的生理作用，它的电离本领极大，且在不大的吸收层内发生这种作用（1μm有2000～6000对离子，比起β射线来要大600～700倍）。α的能量愈大，破坏性也愈大，因为射线的生物作用与电离的密度有关系。α的致伤集中，细胞一死就是一团，故不易恢复。当然，在外部照射时，因其不能透过皮层，故致伤程度减至

❶ 医学上有一分支称为放射医学，它的主要任务是研究电离辐射对生物机体的作用以及放射性损伤的发病机理、诊断、治疗和预防等问题。根据研究方法和应用目的的不同，其主要内容有放射病理学、放射毒理学、放射卫生学、放射诊断学、放射治疗学等各个方面，此外还包括放射性同位素在医学上的应用。

很小，然而皮肤也会引起烧伤或发炎。外部照射，它不及γ射线危害大。但可以想象，α在身体内部的危害就很大了。β射线也具有较为显著的生理作用，它的电离本领也很大，并在不很大的范围内分布（在几个毫米中），在1μm约生成3～10对离子，如受了β的伤害，一般是容易恢复的。因为伤害不很集中，死细胞的旁边还有很多好的细胞，易借新陈代谢恢复正常。外部照射时，它被皮层及皮下的一些细胞所吸收而引起皮炎等，但不如γ射线为害大。β在体内的危害次于α。应该注意的是α，β射线对于皮肤和各种各样感受器官等的伤害，实际上也会或多或少使各种器官系统产生复杂的反射影响。故α、β这种非穿透性射线的剂量，不是可以因其穿透性小而相对地增大，而是应该采取和穿透性射线的最大允许剂量相同的值作为其最大允许剂量。γ射线的穿透性很大，电离作用或多或少是均匀的，做体外照射时，它的危害最大，它易引起体内的各种病症。

X射线同γ-射线一样，它的穿透性很大，按其活性来说，接近于γ射线。强烈X射线的作用，或微弱X射线长时间的作用都将引起身体的剧烈破坏。

中子流不带电，在人体内的自由射程较长（5MeV的中子在人体射程为6.37cm），其危害不仅限于表面一带。中子在进入人体后与氢原子碰撞的减速慢化过程中，氢原子得到最大的能量而形成反冲质子；其后，已被慢化的中子和氮作用起核反应又产生反冲质子。这些带有很大能量的反冲质子，使生物体产生强烈的电离，危害很大。此外中子与体内氢、碳、氮、钠起核反应中放出的γ射线和γ放射体所放出的γ-射线一样，对人体起严重的伤害作用，所以说中子的危害不管是体内或体外都是很大的。

质子流因为本身带有电荷，其作用和α射线很相似，但如果能量很大的质子，其危害远比α粒子大。

在上述射线的影响下，身体的正常生活机能会遭到严重破坏，使血液成分发生急剧变化，淋巴球、白血球均随所受剂量的增加而下降，血小板在照射后也会减少，从而产生血液系统的病症如贫血、出血性紫斑，有时甚至患白血病致人于死命。此外这些射线还能损害神经系统与消化系统，如失眠头痛，记忆力衰退，新陈代谢作用紊乱和破坏，毛发脱落，趾甲、指甲患病、肌肉萎缩，食欲减退，溃疡，小肠部分肠粘膜坏死、绒毛脱落等。从深远的影响来说，所有各种射线粒子都会引起恶性肿瘤或皮肤的癌。恶性肿瘤并不是在照射之后立即出现，一般是有一潜伏期的，至于侵入体内的放射性物质，则会长期地保存体内，经数年以后才发现病患更是众所周知的事实。

在放射性辐射的电离作用下，可能造成DNA分子的损伤（如分子链的断裂或错误修复等）。生殖细胞中的DNA分子受损伤，就可能把这种损伤信息传给后代，从而在后代身上出现某种程度的遗传疾病。

因此，放射性实验室分析人员应十分重视射线的防护，只要作了必要的防护措施，规定了操作规程，设置灵敏的探测器进行监护以及必要的检查和必要的治疗制度，是完全可以避免辐射的危害的。

（二）射线的防护

1.防护的基本原则

（1）实践的正当性　为了防止不必要的照射，一切辐射实践都必须有正当理由，净利益必须超过代价。

（2）辐射防护最优化　所有照射都应保持在可以合理做到的最低水平。

（3）个人剂量限制　个人所受的照射剂量不超过规定的剂量限值。

(4) 避免放射性物质进入体内和污染身体。

2. 对体外照射（外照射）的防护

(1)用量防护　在不影响实验和工作的条件下尽量少用。因按衰变定律$\frac{dN}{dt}=\lambda N$；λ为比例常数，称为衰变常数，N是尚未衰变的总核数，可见N大，$\frac{dN}{dt}$就大。

(2)时间防护　人体所接受的剂量大小与受照射的时间成正比，因此要减少照射时间，从而达到防护目的。为此不要在有放射性物质（特别是β，γ体）的周围作不必要的停留。工作时操作力求简单、快速、准确。也可以增配工作人员轮换操作，以减少每人受照射时间。

(3)距离防护　人体所接受的剂量大小与接触放射性物质距离的平方成反比。接触放射性物质的距离增加1倍则剂量就小到1/4，因此随着距离的增加，剂量的减小是很显著的。原则上是距离愈远愈好。为此，操作放射性物质可以利用各种夹具，以增长接触的距离，但夹具也不宜太长，否则会增加操作的困难。

(4) 屏蔽防护　就是利用适当的材料对射线进行遮挡的防护方法，在放射源与人体之间放置能吸收或减弱射线的屏蔽。相对密度较大的金属材料（如铁、铅等）、水泥和水对γ射线和X射线遮挡性能较好；相对密度较小的材料（如镉、锂、石蜡、硼砂等）对中子的遮挡性能较好；β射线和α射线容易遮挡，一般用轻金属铝、塑料、有机玻璃等来遮挡即可。屏状物除了需要长期固定者外，都应做成可以拆装，而且要求做到不让射线从摺迭缝中透出屏外。如果屏状物是不透明的（如铅屏），又不便于用眼睛直接去观察，则在工作时可以备一镜子，通过反射来进行操作，当然事前应该操练纯熟，否则容易发生洒泼等事故。

3. 对放射性物质进入人体的预防

(1) 防止由消化系统进入人体　绝对禁止用口吸取溶液。当然在实验室内也不应吃喝、吸烟，或以其他东西与口腔接触。吸取液体必须有长距离控制的注射器，以消除溶液侵入口内的可能性。

工作必要时一定要戴手套口罩。口罩和手套内部特别是口罩要保持高度的清洁，戴上手套后不要乱摸别的东西，不要用已破的手套，并须注意手套的表面及里面，不要将沾污了的外表面翻转到里面戴上手去。因此要注意戴手套的顺序和方法，尽可能不接触活性的一面。

指甲要常剪。工作后，离实验室前应很好的洗手，检查手以及可能污染的部分到容许程度以下才能离开。

(2) 防止通过呼吸系统进入体内　室中保持高度的清洁，经常清扫，不要用扫帚干扫，因为这样会引起尘土飞扬，应用吸尘器吸去地面上的灰尘或潮湿的拖布拖拭。遇有污染时应慎重处理。

室中要有良好的通风，必要的工作如煮沸、烤干、蒸发等，均应在通风柜中进行。处理粉末应在手套箱中进行。还要经常调节气流使新鲜空气先通过工作者而后经过放射性物质排出。工作中如必要还可戴滤过型呼吸器。呼吸器特别是其内部应保持高度清洁。

(3) 防止通过皮肤进入体内　小心工作，不要让仪器等物，特别是沾有放射性的部分割破皮肤，这是最危险的。

手如有小伤要妥善扎好后戴上手套再工作，如伤部不小，需停止工作。

不要用有机溶剂洗手和涂敷皮肤，否则会增加对放射性物质的渗透性（如溶有放射性物质的乙醚、氯仿、三氯乙烯等溶液可以通过正常的皮肤进入体内。）

除上述的具体措施外，下面四条原则也是重要的应力求做到：

①选择同位素时，在满足实验要求的情况下，尽量取危险性小的来应用。

②取用的量尽可能的少。

③尽可能的简化手续，缩短操作时间。

④尽量减少以至杜绝放射性物质散布造成污染。放射性废物应贮存在专用的污物筒中，定期处理。

三、对放射性污染的处理

（一）去除污染的方法

因沾污的情况，被沾污表面的特点有所不同，去除污染的方法也各异，很难规定一种通用的方法，一般应先用水清洗去污，固水是最常用、最普通的去污剂，若不能达到要求时，再根据不同情况采用不同的洗液及方法。

1. 常用的洗液

（1）10%柠檬酸-盐酸（将柠檬酸溶解于稀盐酸中），10%柠檬酸，$8mol\cdot L^{-1}$硝酸，6%乙酸，$1mol\cdot L^{-1}$盐酸或10%盐酸，3%盐酸。

（2）10%氨水，5%氢氧化钠。

（3）3%柠檬酸铵，1%磷酸钠。

（4）0.5%乙二胺四乙酸钠（NaEDTA），去除金属放射性同位素的污染，较之其他洗液效果良好。

除上述洗液外，用相同状态的化合物的稳定性同位素溶液去除污染可以得到良好效果，例如

洗^{140}Ba　　用$6mol\cdot L^{-1}Ba(NO_3)_2$

洗^{32}P　　用$3mol\cdot L^{-1}HNO_3+1mol\cdot L^{-1}H_3PO_4$

洗^{131}I　　用56%HI

应该指出的是发现污染后应立即洗涤，放置时间越久越不易洗掉。下面为一些常用的除放射性沾污步骤，可供参考。

2. 除沾污的步骤

（1）物体表面沾污的除去　见表11-5。

表11-5　几种表面污染的处理

表面性质	去污剂	用法	备注
橡胶制品	肥皂、合成洗涤剂	一般清洗	
	稀硝酸	洗刷、冲洗	不适用于^{14}C、^{131}I
玻璃和瓷制品	肥皂、合成洗涤剂	刷洗、冲洗	
	铬酸混合液、盐酸、柠檬酸	将器皿放入盛有3%盐酸和10%柠檬酸溶液中浸泡1h，取出用水冲洗后，再置于洗液（重铬酸钾在浓硫酸中的饱和溶液）中浸泡15min，最后用水冲洗	浓盐酸不适用于^{14}C、^{131}I等
金属器具	肥皂、合成洗涤剂、柠檬酸钠、EDTA等	一般清洗	
	柠檬酸和稀硝酸	对不锈钢，先置于10%柠檬酸溶液中浸泡1h，用水冲洗后再置于稀硝酸中浸泡2h，再用水冲洗	

续表

表面性质	去污剂	用法	备注
油漆类	温水、水蒸汽、合成洗涤剂等	对污染局部进行擦洗	
	柠檬酸、草酸	3%溶液刷洗	
	磷酸钠	1%溶液刷洗	不能用于铝上的油漆
	有机溶剂	用二甲苯等有机溶剂擦洗	注意通风
	NaOH，KOH	浓溶液擦洗去掉油漆	
		刮去	适用于局部
混凝土和砖	盐酸、柠檬酸	用两者混合液多次清洗	
		刮去或更换	适用于局部
瓷砖	柠檬酸铵	3%溶液擦洗	
	盐酸、EDTA、磷酸钠	10%溶液擦洗	
		更换	适用于局部
漆布	四氯化碳、柠檬酸铵、EDTA、盐酸	配成溶液清洗	
塑料	柠檬酸铵	用煤油等有机溶剂稀释后刷洗	
	酸类、四氯化碳	稀释液清洗	
未涂漆木器具		刨去表层	

(2) 工作服上沾污的除去　首先将工作服仔细检查，按其放射性分为3类：

β、γ放射源污染了的，计数的脉冲小于1000次·min^{-1}，可以用平常洗衣服的方式清洗；

β、γ放射源污染了的，计数的脉冲大于1000次·min^{-1}及α放射性同位素所污染的，这两类衣服可按下列5步清洗：水中冲洗，在6%柠檬酸的热溶液中冲洗；热水冲洗；浸在热水中加去污剂洗，在酸中冲洗，在热水中冲洗，但这一步须重复两次；最后用水冲洗3次。

每次洗涤为5min。若完成前3步后，α，γ放射源的脉冲读数仍然超过1000次·min^{-1}，则只能将其分别妥善保管直至放射性衰减至允许值以下。

(3) 手套和手上沾污的去除　手套在脱下之前，先用肥皂清洗，然后用水冲洗，测定放射性，如仍有放射性物质存在则用1%柠檬酸水，然后再用水洗。

手上污染的去除（也适合于皮肤的其他裸露区域）　手的沾污程度很轻时，用肥皂及软毛刷子及温水刷洗5min，测量放射性，不超过容许程度即可。如果超过，再重新洗5min，如放射性仍然超过容许程度，则应采取其他方法洗手。若已知是何种同位素污染时，则根据该种同位素的性质及手的耐受程度决定适当的洗液。若不了解污染是何种放射性物质或受混合的放射性物质所污染时，可采取以下步骤：

将手浸入饱和的高锰酸钾溶液，然后用水洗手；用新鲜的5%亚硫酸氢钠洗手，再用水洗；如有必要也可用稀酸（不应大于3mol·L^{-1}否则会产生看不出的皮肤龟裂，沾污不但不易洗下来，倒反钻了进去）洗手；结束后用羊毛脂或软膏擦手。

前已述及清除皮肤沾污的洗液，不应采用有机溶剂。

若手或皮肤表面污染严重，也可用氧化钛与甾醇搅拌成糊状，擦洗2min再用肥皂、温水洗净。

（二）放射性废物的排除

首先，将实验过程中产生的放射性废物收集在专用的污物桶中，桶的外部涂上红漆或写上红字，最好将同一种放射性同位素所沾污的废物收集在一个桶内，以减少处理时的困难。

其次，根据放射性同位素半衰期的长短和性质可采用不同的方法来处理。一般说，半衰期长的比半衰期短的不易处理。下面按放射性同位素的半衰期长短，将常用同位素分为3类，并简述其处理的方法如下：

1. 半衰期为两周左右或两周以下的同位素　这类同位素在实验室中常用的有^{42}K（半衰期为12.4h），^{24}Na（半衰期为15.0h）I^{131}（半衰期为8.07d），^{32}P（半衰期为14.3d）。这几种同位素，由于半衰期短，对其废物处理的最好方法是将废物桶密闭后，置于专门的贮存室，放置一定时间（10个半衰期），使其衰变后再行处理。处理方式是由下水道排出或将其焚化。如果是从下水道排出则按GBJ8—74的规定，应该将放射性同位素含量用水稀释至确保本单位下水道总排出口水中的放射性物质的含量低于露天水源中的限制浓度。如果是焚化处理，则排入大气的放射性物质应满足GBJ8—74规定的要求，使其在不同人员所在地区空气中的浓度，不超过其相应地区空气中的限制浓度（每周平均浓度）。

可以认为直接与皮肤接触的液体中^{131}I的浓度不超过$0.5\mu Ci \cdot L^{-1}$时是没有危险的。

用稳定性同位素稀释法对^{32}P的排除有特殊的意义，因为有些微生物积聚磷的能力非常强，如果用磷酸盐形态的稳定性磷稀释（按10g稳定性磷对1mCi放射性磷的比例），则可使此放射性减低到生物积累作用表现不出来的程度。

2. 中等程度半衰期的同位素　这类放射性同位素常用者有^{45}Ca（半衰期165d），^{59}Fe（半衰期为45.1d），^{65}Zn（半衰期为243.6d）及^{35}S（半衰期为88d）等同位素。对这几种放射性同位素的排除比较妥善的方法是经过浓缩或焚化后埋在地中。但应确保露天水源、地下水不被放射性物质所污染。

3. 半衰期长的同位素　这类放射性同位素常用者有^{60}Co（半衰期为5.26a），^{14}C（半衰期为5730a）。对半衰期长的金属放射性同位素，最妥善的处理方法依然是经过浓缩或焚化后埋在地中。一般说固体放射性废物可送至特制的不锈钢焚化炉中并供给过剩空气以进行充分的燃烧，将焚化后的灰经过与粘土混合的烧结处理或与水泥原料混合使之成为水泥块，再埋在距地面1.5m以下。液体废物可用蒸发（挥发性放射性元素除外）、离子交换及凝集剂（硫酸铝钾、氯化铁、磷酸钠、氢氧化钙等）等方法使之浓缩后，装入容器，再埋于坑底。上述废物埋藏地点应远离市区，且防护监测区的范围不得小于300m，废物坑附近不得修建房屋。

（三）严重事故的处理

1. 对于辐射大的溶液的溅泼的处理步骤

（1）手上戴手套，将容器扶正。

（2）立即通知别人离开。

（3）冲洗掉手上皮肤上的污染，脱去溅泼时沾污了的衣服。

（4）报告有关人员进行处理，进行处理的人，应穿着佩带防护、清理、测量三个方面的仪器、设备。

（5）小心地吸起溶液，再用特殊吸水纸将溅液吸干。

（6）保持湿润状态，加入适当的酸洗涤，再吸干，重复几次。

（7）用水洗涤，再吸干，重复几次。

（8）进行测量，到容许剂量以下，恢复工作。

（9）详细记录经过情况，以便分析原因，取得教训，防止再发生该类事故。

其中（5）～（9）不管大小溅泼都是必需的。(6)、(7）两项，视不同同位素在不同的材料情况下，而有所不同。具体情况可以参看前面一、“去除污染的方法”。

2.对于放射性粉末撒泼的处理步骤

（1）通知别人小心地离开，不要引起粉末飞扬；同时关通风扇。

（2）关闭引起粉末飞扬的门窗。

（3）迅速用水冲去皮肤上的沾污，脱去沾污了的衣服。

（4）报告有关人员，进行处理。进行处理的人除如上节1.（4）规定应穿着佩带必要的设备仪器外，另外应备有滤过型呼吸器或隔绝的单独呼吸系统。

（5）小心地回收粉末，对难于回收的部分则用相应的酸溶解之。

（6）如液体溅泼中按(6)～(9)进行。

3.被放射性器皿割伤的皮肤的处理步骤

（1）立即冲洗割破部分愈早愈好，然手用0.5%的 EDTA 二钠溶液洗涤。此时应用手压伤口上方几厘米处，停止静脉血液循环，但不要破坏动脉血液循环。

（2）报告负责人。

（3）就医，情况严重的，还要切除伤口部分。

4.对吸入或吞入放射性物质的处理

报告负责人，立即就医，减少被吞入放射性物质在消化系统中的吸收的办法有：

（1）吃催吐剂或进行洗胃；

（2）吃相应的沉淀剂，减少胃肠中的吸收；

（3）吃合适的泻药促使其排出。

吞入稀土金属的放射性同位素时，可服用草酸盐含量较高的蔬菜如菠菜，也可服用极细的羧基阳离子交换树脂，切忌使用络合剂，因为它们会增加这些同位素的溶解度。

吞入碱土金属的放射性同位素时，因其硫酸盐不易溶解，故可用硫酸镁治疗。因碱土金属在肠胃道中极易被吸收，必须立即治疗。大量服用磷酸钙可以减少锶的吸收。但忌吃奶粉，因它促进这些同位素的吸收。

表11-6长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量及表11-7放射性同位素的毒性分组，有助于了解放射性同位素的相对危险程度。

表11-6　长寿命亲骨性同位素在体内的最大容许积存量（q_m）

放射性同位素		体内最大容许积存量 /μCi	放射性同位素		体内最大容许积存量 /μCi	放射性同位素		体内最大容许积存量 /μCi	放射性同位素		体内最大容许积存量 /μCi
名称	符号		名称	符号		名称	符号		名称	符号	
钙	^{45}Ca	30	镤	^{231}Pa	0.02	镅	^{241}Am	0.05	锎	^{249}Cf	0.04
锶	^{89}Sr	4	镎	^{237}Np	0.06		^{242m}Am	0.07		^{250}Cf	0.04
	^{90}Sr	2	钚	^{233}Pu	0.04		^{243}Am	0.05		^{251}Cf	0.04
锆	^{93}Zr	100		^{239}Pu	0.04	锔	^{245}Cm	0.04		^{252}Cf	0.01
钕	^{144}Nd	0.1		^{240}Pu	0.04		^{246}Cm	0.05	锿	^{254}Es	0.02
钐	^{147}Sm	0.1		^{241}Pu	0.9		^{247}Cm	0.04		^{255}Es	0.04
镭	^{226}Ra	0.1		^{242}Pu	0.05		^{248}Cm	0.005			
	^{228}Ra	0.06		^{244}Pu	0.04	锫	^{249}Bk	0.7			

表11-7　放射性同位素的毒性分组

极毒组（一组）	高毒组（二组）	中毒组（三组）	低毒组（四组）
$^{210}_{82}$Pb、$^{210}_{84}$Po、$^{223}_{88}$Ra、 $^{225}_{88}$Ra、$^{226}_{88}$Ra、$^{228}_{88}$Ra、 $^{227}_{89}$Ac、$^{227}_{90}$Th、$^{228}_{90}$Th、 $^{229}_{90}$Th、$^{230}_{90}$Th、$^{231}_{91}$Pa、 $^{230}_{92}$U、$^{232}_{92}$U、$^{233}_{92}$U、 $^{234}_{92}$U、$^{237}_{93}$Np、$^{236}_{94}$Pu、 $^{238}_{94}$Pu、$^{239}_{94}$Pu、$^{240}_{94}$Pu、 $^{241}_{94}$Pu、$^{242}_{94}$Pu、$^{241}_{95}$Am、 $^{242}_{95}$Am、$^{243}_{95}$Am、$^{240}_{96}$Cm、 $^{242}_{96}$Cm、$^{243}_{96}$Cm、$^{244}_{96}$Cm、 $^{245}_{96}$Cm、$^{246}_{96}$Cm、$^{247}_{96}$Cm、 $^{248}_{96}$Cm、$^{248}_{98}$Cf、$^{249}_{98}$Cf、 $^{250}_{98}$Cf、$^{251}_{98}$Cf、$^{252}_{98}$Cf、 $^{254}_{98}$Cf、$^{254}_{99}$Es、$^{255}_{99}$Es	$^{22}_{11}$Na、$^{36}_{17}$Cl、$^{45}_{20}$Ca、$^{46}_{21}$Sc、 $^{60}_{27}$Co、$^{90}_{38}$Sr、$^{91}_{39}$Y、$^{93}_{40}$Zr、 $^{94}_{41}$Nb、$^{106}_{44}$Ru、$^{110m}_{47}$Ag、 $^{115m}_{48}$Cd、$^{114m}_{49}$In、$^{124}_{51}$Sb、 $^{125}_{51}$Sb、$^{124}_{53}$I、$^{125}_{53}$I $^{126}_{53}$I、$^{131}_{53}$I、$^{134}_{55}$Cs、$^{140}_{56}$Ba、 $^{144}_{58}$Ce、$^{152}_{63}$Eu（$T_{1/2}=13$年）、$^{154}_{63}$Eu、$^{160}_{65}$Tb、 $^{170}_{69}$Tm、$^{181}_{72}$Hf、$^{182}_{73}$Ta、$^{192}_{77}$Ir、 $^{204}_{81}$Tl、$^{212}_{82}$Pb、$^{207}_{83}$Bi、$^{210}_{83}$Bi、 $^{211}_{85}$At、$^{224}_{88}$Ra、$^{228}_{89}$Ac、 $^{232}_{90}$Th、$_{90}$Th$_{nat}$①、$^{230}_{91}$Pa、 $^{236}_{92}$U、$^{244}_{94}$Pu、$^{242}_{95}$Am、 $^{241}_{96}$Cm、$^{249}_{97}$Bk、 $^{246}_{98}$Cf、$^{253}_{98}$Cf、$^{253}_{99}$Es、 $^{254m}_{99}$Es、$^{255}_{100}$Fm、$^{256}_{100}$Fm	$^{7}_{4}$Be、$^{14}_{6}$C、$^{18}_{9}$F、$^{24}_{11}$Na、$^{31}_{14}$Si、$^{32}_{15}$P、 $^{33}_{15}$P、$^{35}_{16}$S、$^{38}_{17}$Cl、$^{41}_{18}$Ar、$^{42}_{19}$K、$^{43}_{19}$K、$^{47}_{20}$Ca、 $^{47}_{21}$Sc、$^{48}_{21}$Sc、$^{48}_{23}$V、$^{51}_{24}$Cr、$^{52}_{25}$Mn、$^{54}_{25}$Mn、 $^{52}_{26}$Fe、$^{55}_{26}$Fe、$^{59}_{26}$Fe、$^{55}_{27}$Co、$^{56}_{27}$Co、$^{57}_{27}$Co、 $^{58}_{27}$Co、$^{63}_{28}$Ni、$^{65}_{28}$Ni、$^{64}_{29}$Cu、$^{65}_{30}$Zn、$^{69m}_{30}$Zn、 $^{72}_{31}$Ga、$^{73}_{33}$As、$^{74}_{33}$As、$^{76}_{33}$As、$^{77}_{33}$As、$^{75}_{34}$Se、 $^{82}_{35}$Br、$^{74}_{36}$Kr、$^{77}_{36}$Kr、$^{87}_{36}$Kr、$^{88}_{36}$Kr、$^{86}_{37}$Rb、 $^{83}_{38}$Sr、$^{85}_{38}$Sr、$^{89}_{38}$Sr、$^{91}_{38}$Sr、$^{92}_{38}$Sr、$^{90}_{39}$Y、 $^{92}_{39}$Y、$^{93}_{39}$Y、$^{86}_{40}$Zr、$^{88}_{40}$Zr、$^{89}_{40}$Zr、$^{95}_{40}$Zr、 $^{97}_{40}$Zr、$^{90}_{41}$Nb、$^{93m}_{41}$Nb、$^{95}_{41}$Nb、$^{95m}_{41}$Nb、 $^{96}_{41}$Nb、$^{90}_{42}$Mo、$^{93}_{42}$Mo、$^{99}_{42}$Mo、$^{96}_{43}$Tc、 $^{97m}_{43}$Tc、$^{97}_{43}$Tc、$^{99}_{43}$Tc、$^{97}_{44}$Ru、$^{103}_{44}$Ru、 $^{105}_{44}$Ru、$^{105}_{45}$Rh、$^{103}_{46}$Pd、$^{109}_{46}$Pd、$^{105}_{47}$Ag、 $^{111}_{47}$Ag、$^{109}_{48}$Cd、$^{115}_{48}$Cd、$^{115m}_{49}$In、$^{115}_{50}$Sn、 $^{125}_{50}$Sn、$^{122}_{51}$Sb、$^{121}_{52}$Te、$^{121m}_{52}$Te、 $^{123m}_{52}$Te、$^{125m}_{52}$Te、$^{127m}_{52}$Te、$^{129m}_{52}$Te、 $^{131}_{52}$Te、$^{131m}_{52}$Te、$^{132}_{52}$Te、$^{133m}_{52}$Te、 $^{134}_{52}$Te、 $^{120}_{52}$I、$^{123}_{53}$I、$^{130}_{53}$I、$^{132}_{53}$I、$^{132m}_{53}$I、$^{133}_{53}$I、$^{135}_{53}$I、 $^{135}_{54}$Xe、$^{132}_{55}$Cs、$^{136}_{55}$Cs、$^{137}_{55}$Cs、$^{131}_{56}$Ba、 $^{140}_{57}$La、$^{134}_{58}$Ce、$^{135}_{58}$Ce、$^{137m}_{58}$Ce、$^{139}_{58}$Ce、 $^{141}_{58}$Ce、$^{143}_{58}$Ce、$^{142}_{59}$Pr、$^{143}_{59}$Pr、$^{147}_{60}$Nd、 $^{149}_{60}$Nd、$^{147}_{61}$Pm、$^{149}_{61}$Pm、$^{151}_{62}$Sm、 $^{153}_{62}$Sm、$^{152m}_{63}$Eu（$T_{1/2}=9h$）、$^{155}_{63}$Eu、 $^{153}_{64}$Gd、$^{159}_{64}$Gd、$^{165}_{66}$Dy、$^{166}_{66}$Dy、$^{166}_{67}$Ho、 $^{169}_{68}$Er、$^{171}_{68}$Er、$^{171}_{69}$Tm、$^{175}_{70}$Yb、$^{177}_{71}$Lu、 $^{181}_{74}$W、$^{185}_{74}$W、$^{187}_{74}$W、$^{183}_{75}$Re、$^{186}_{75}$Re、 $^{188}_{75}$Re、$^{185}_{76}$Os、$^{191}_{76}$Os、$^{193}_{76}$Os、$^{190}_{77}$Ir、 $^{194}_{77}$Ir、$^{191}_{78}$Pt、$^{193}_{78}$Pt、$^{197}_{78}$Pt、$^{196}_{79}$Au、 $^{198}_{79}$Au、$^{199}_{79}$Au、$^{197}_{80}$Hg、$^{197m}_{80}$Hg、 $^{203}_{80}$Hg、$^{200}_{81}$Tl、$^{201}_{81}$Tl、$^{202}_{81}$Tl、$^{203}_{82}$Pb、 $^{206}_{83}$Bi、$^{212}_{83}$Bi、$^{220}_{86}$Rn、$^{222}_{86}$Rn、$^{226}_{90}$Th、 $^{231}_{90}$Th、$^{234}_{90}$Th、$^{233}_{91}$Pa、$^{231}_{92}$U、$^{237}_{92}$U、 $^{240}_{92}$U、$^{240}_{92}$U+、$^{240}_{93}$Np、$^{239}_{93}$Np、$^{234}_{94}$Pu、 $^{237}_{94}$Pu、$^{245}_{94}$Pu、$^{238}_{95}$Am、$^{240}_{95}$Am、 $^{244m}_{95}$Am、$^{244}_{95}$Am、$^{238}_{96}$Cm、$^{250}_{97}$Bk、 $^{244}_{98}$Cf、$^{254}_{100}$Fm	$^{3}_{1}$H、$^{15}_{8}$O、$^{37}_{18}$Ar、$^{51}_{25}$Mn、$^{52m}_{25}$Mn、 $^{53}_{25}$Mn、$^{56}_{25}$Mn、$^{58m}_{27}$Co、$^{60m}_{27}$Co、$^{61}_{27}$Co、 $^{62m}_{27}$Co、$^{59}_{28}$Ni、$^{69}_{30}$Zn、$^{71}_{32}$Ge、$^{76}_{36}$Kr、 $^{79}_{36}$Kr、$^{81}_{36}$Kr、$^{83m}_{36}$Kr、$^{85m}_{36}$Kr、$^{85}_{36}$Kr、 $^{80}_{38}$Sr、$^{81}_{38}$Sr、$^{85m}_{38}$Sr、$^{87m}_{38}$Sr、$^{91m}_{39}$Y、 $^{88}_{41}$Nb、$^{89(66m)}_{41}$Nb、$^{89(122m)}_{41}$Nb、$^{97}_{41}$Nb、 $^{98}_{41}$Nb、$^{93m}_{42}$Mo、$^{101}_{42}$Mo、$^{96m}_{43}$Tc、 $^{99m}_{43}$Tc、$^{103m}_{45}$Rh、$^{113m}_{49}$In、$^{116}_{52}$Te、 $^{123}_{52}$Te、$^{127}_{52}$Te、$^{129}_{52}$Te、$^{133}_{52}$Te、$^{120m}_{53}$I、 $^{121}_{53}$I、$^{128}_{53}$I、$^{129}_{53}$I、$^{134}_{53}$I、$^{131m}_{54}$Xe、 $^{133}_{54}$Xe、$^{125}_{55}$Cs、$^{127}_{55}$Cs、$^{129}_{55}$Cs、$^{130}_{55}$Cs、 $^{131}_{55}$Cs、$^{134m}_{55}$Cs、$^{135}_{55}$Cs、$^{135m}_{55}$Cs、 $^{138}_{55}$Cs、$^{137}_{58}$Ce、$^{191m}_{76}$Os、$^{193m}_{78}$Pt、 $^{197m}_{78}$Pt、$^{203}_{84}$Po、$^{205}_{84}$Po、$^{207}_{84}$Po、 $^{227}_{88}$Ra、$^{235}_{92}$U、$^{238}_{92}$U、$^{239}_{92}$U、 $_{92}$U$_{nat}$②、$^{235}_{94}$Pu、$^{243}_{94}$Pu、$^{237}_{95}$Am、 $^{239}_{95}$Am、$^{245}_{95}$Am、$^{246m}_{95}$Am、$^{246}_{95}$Am、 $^{249}_{96}$Cm

① 1Bq 天然钍相当于1α蜕变每秒（dps）（^{232}Th：0.5dps，^{228}Th：0.5dps）。
1Ci 天然钍相当于$3.7\times10^{10}\alpha$蜕变每秒（^{232}Th：1.85×10^{10}dps，^{228}Th：1.85×10^{10}dps）。

② 1Bp 的天然铀相当于1α蜕变每秒（^{233}U：0.489dps，^{234}U：0.489dps，^{235}U：0.022dps）。
1Ci 的天然铀相当于$3.7\times10^{10}\alpha$蜕变每秒（^{238}U：1.81×10^{10}dps，^{234}U：1.81×10^{10}dps，^{235}U：8.31×10^{8}dps）。

四、对开放型放射性实验室的主要防护要求

对开放型放射性实验室建筑的主要防护要求，应按GBJ8-74第七章的规定，这里着重对小规模第3类工作单位实验室的设计与装备在符合防护要求方面作简要介绍。

放射性实验室应该具有特殊的设计及装备。为确保充分净化起见，墙壁、天花板、门窗都必须平滑不应留有易于贮积尘埃的角、缝。墙壁所用材料应当便于洗涤而不致受到损坏。一切角落、裂缝、设备和墙壁间的空隙都必须仔细堵严，使之无法贮积放射性物质。地面必须平滑、无空隙和裂缝、坚固并易于净化，一般可以用大一些和厚一些的上釉瓷砖来铺，接缝处用油石灰填塞好再涂一层硝基纤维漆。电灯、电线应当装在墙壁内以免积聚沾污的尘土。

桌子的工作台面对于保证安全工作具有重大的意义。最好用不锈钢的薄板盖上桌面，薄钢板前面与左右要带有边缘，并使其稍稍向后倾斜以便使液体流入桌子后面边上的排水沟内。排水沟与桌子应形成一个整体。桌子与地板必须有一定的距离，以便于从桌子下面洗涤或用吸尘器吸出其下面的尘埃。柜子与桌子要少用把手，少用抽屉。把手、门把手以及煤气管、自来水管和真空开关的龙头，都要用易于净化的塑料或金属制造。洗涤池可用不锈钢或上釉的瓷器。

放射性实验室的通风至为重要。通风橱应特别设计，出气道口可以安上一个活动障板，这样可调节通风率。通风橱的工作台面最好也用不锈钢制造，距橱口20cm 的地方可划一直线，一切操作应在线的后边进行。橱内前部的左右两端可装两个环形倾泻池，这要比一般设在后面的安全方便。必须保证使用煤气、水、电、真空、导管等开关的便利。现在有两种方法安装这些线路：第一种方法是将一切连接橡皮管的开关和管端装于通风橱的外面；第二种方法是将开关装在外面，而连接的管端则位于橱内。每一种方法都有自己的优缺点，应根据工作的具体条件和种类加以选择。

通风橱应避免空气流的影响，不要安置在强空气流的地方。室内若有两个橱，马达应由一个开关控制，通风橱不用时橱窗应随时关上。如果一橱通风一橱不通风，则不通风的那一橱的橱窗一定要关好，以避免未通风橱内的沾污空气传布至室内。通风橱的出气道的口，应高出屋顶1.5m 至3m，以免沾污空气回入室内（对于规模较大的放射性工作单位，应根据操作性质和特点，将通风系统合理组合，严防污染气体的倒流；排风机应设在靠近排气口一端，而排气口须超过周围50m 范围内最高屋脊3m 以上）。

通风橱的鼓风马达应在屋顶。那么马达与橱间的压力小于大气压，若排气管有漏气的地方，亦不过把空气从外面吸入管内，然后再从管口排出；假若马达设在橱的上面，那么马达以上的压力大于大气压，排气管若漏气，则沾污的空气会从管内漏出而进入室内。并且应该用离心式的马达将它装在管道之外，而不要用轴流式的马达装在管道内，这样可以避免马达不被沾污。

对于放射性同位素的贮存，应使其射线不致对工作人员有害，也不致影响照相胶片或影响计数率。

实验室中的气流应从无放射性的地点或弱放射性的地方通向放射性强的地方。

操作放射性的房间应该聚集在一起，而不操作放射性的房间，如办公室等应该聚集在另一处。

总之，放射性实验室的设计须考虑3个要素：①安全，②经济，③便利，但应以安全为第一要素。在确保安全的条件下，设置一些简单、经济的操作设备是完全必要的，例如手套箱便是这样的操作设备之一。它是一只密闭的金属箱，内装有手套，手可从手套伸入箱内工作，不

致被沾污，放射性物质也不会吸入体内。弱 β 放射体如 ^{35}S 及 ^{14}C 最好在箱内操作。箱内通风的通风机功率可小于1马力，使箱内维持（98～19.6）Pa〔（10～20）mmH_2O〕的负压。由箱内排出的空气，可先通过滤器再入通风管道。手套箱的优点：一是可局限沾污，二是去污的空间也比用通风橱为小。在更简单的工作中，手套箱也可不通风。

主要参考文献

1. 中国科学院原子能研究所编. 放射性同位素应用知识. 北京：科学出版社，1959.
2. 环境保护工作手册编写组编. 环境保护工作手册. 成都：四川科学技术出版社，1986.
3. 章仲侯主编. 放射卫生学. 北京：原子能出版社，1985.
4. 中华人民共和国国家标准 GBJ8-74，放射防护规定. 北京：中国标准出版社，1974.
5. 中华人民共和国国家标准 GB8703-88，辐射防护规定. 北京：中国标准出版社，1988.

第十二章　不幸事故的急救与处理

下述仅供发生不幸事故和发生各种物质中毒时进行急救及治疗的参考。情况严重时，必须立即送医疗单位诊治。

第一节　烧伤的急救

一、一般处置

烧伤包括烫伤及火伤。急救的主要目的在于减轻痛的感觉并保护皮扶的受伤表面不受感染。为此，当灼伤遍及身体表面积过大时，应将伤者的衣服脱掉，用消过毒的布被单包好。各种烧伤的主要危险是患者身体损失大量水分，因此必须给患者大量热的饮料。

对一般烧伤伤员可以口服烧伤饮料或含盐开水防休克。为解除伤员痛苦，可以用针刺止痛，或口服吗啡0.01g或肌肉注射度冷丁（50～100）mg。伤势严重者，应迅速转送医院，但对正在休克期的伤员，不能未作处理即加转送，这会加重休克。对休克伤员最好请医护人员前来抢救。送伤者至医院时要防寒、防暑、防颠，必要时输液。

对四肢及躯干部二度烧伤面积又不太大者，可以用薄油纱布覆盖在已清洗（可先用无菌生理盐水洗后，再用1＋2000新洁尔灭冲洗）拭干的伤面，并用几层纱布包裹，两三天后即须换敷料，但内层敷料可以不换，特殊情况除外。

凡烧伤面积大，三度烧伤多者，尽可能用暴露疗法，不宜包扎。暴露疗法应在医疗单位进行。下面介绍几种烧伤外用中草药：

1.轻度烧伤　可用清凉乳剂（消石灰500g加蒸馏水或冷开水四碗，搅拌、沉降。取上层清液和等体积芝麻油混合）涂于伤处，必要时包扎。

2.二度烧伤　烧伤2号：榆树皮（内皮）粉5份，黄柏粉2份，用80%乙醇浸泡48h后挤出浸液，过滤备用。用法：喷涂于已清洗的创面，然后暴露疗法。

烧伤粉：地榆78%，黄连2%，冰片20%（均为质量分数）均研成细粉，经120目筛过筛，混匀，用时用香油调敷创面。暴露或包扎。

二、化学灼伤的急救

化学灼伤时，应迅速解脱衣服。首先用手帕、纱布或吸水性良好的纸片等物吸去皮肤上的化学毒物液滴，用大量清水彻底冲洗，再以适合于消除这种有毒化学药品的特种溶剂、溶液或药剂仔细洗涤处理伤处。今将一般急救或治疗法列于表12-1。

表12-1　化学灼伤的急救或治疗

单质和化合物	急救或治疗方法
碱类：氢氧化钾、氢氧化钠、氨、氧化钙、碳酸钠、碳酸钾	立即用大量清水作较长时间冲洗，然后用2%乙酸或2%柠檬酸或4%硼酸冲洗；其中对氧化钙的灼伤时，可用任一种植物油洗涤伤处
碱金属氰化物、氢氰酸	先用高锰酸钠溶液洗，再用硫化铵溶液漂洗

续表

单质和化合物	急救或治疗方法
溴	用1体积（25%）氨+1体积松节油+10体积乙醇（95%）的混合液处理，不可单纯用水冲洗，以免增加水解反应而使损害程度加重
铬　酸	先用大量水冲，然后用硫化铵溶液漂洗
氢氟酸	先用大量冷水冲洗较长时间，直至伤口表面发红，然后用50g·L⁻¹碳酸氢钠溶液洗，再以甘油与氧化镁（2+1）悬浮剂涂抹，用消毒纱布包扎
磷	不可将创伤面暴露于空气或用油质类涂抹。应先用10g·L⁻¹硫酸铜溶液洗净残余的磷，再用（1+1000）高锰酸钾湿敷，外涂以保护剂，用绷带包扎
苯酚	先用大量水冲，然后再用4体积乙醇（70%）与1体积氯化铁（1mol·L⁻¹）的混合液洗，或先用大量水冲后，再用50%乙醇冲洗（2～3）次，再用生理盐水冲洗10min 最后用5%硫代硫酸钠湿敷（2～3）d
氯化锌、硝酸银	先用水冲，再用50g·L⁻¹碳酸氢钠溶液漂洗，涂油膏及磺胺粉
酸类：硫酸、盐酸、硝酸、磷酸、乙酸、蚁酸、草酸、苦味酸	用大量的水冲洗，然后用2%碳酸氢钠溶液冲洗

注：化学灼伤较重者，应及时使用破伤风抗毒素和抗菌素。

三、眼睛灼伤的处理

眼睛受到任何伤害时，必须立即请眼科医师诊治。但在医师救护前，对于眼睛的化学灼伤的急救应该是分秒必争。若眼睛被溶于水的化学药品灼伤时，应立即去最近的地方冲洗眼睛或淋浴，用流水缓慢冲洗眼睛15min 以上，淋洗时轻轻用手指撑开上下眼睑，并嘱伤员眼球向各方转动，再速请眼科医生诊治。如果是碱灼伤时，再用4%硼酸或2%柠檬酸溶液冲洗，冲洗后反复滴氯霉素等微酸性眼药水；而在酸灼伤时，则用2%碳酸氢钠溶液冲洗，冲洗后可反复滴磺胺乙酰钠等微碱性眼药水。

第二节　创伤与中毒的急救

一、创伤的急救

用消毒镊子或消毒纱布机械地把伤口清理干净，并用3.5%的碘酒涂在伤口四周。碘酒是消毒的药物，也可使毛细管止血。对于创伤轻的毛细管出血，伤口消毒后即可用止血粉外敷。

不论是毛细管出血（渗出血液，出血少），静脉出血（暗红色血，流出慢）还是动脉出血（喷射状出血，血多）都可以用压迫法止血，压迫在什么位置，看创口部位决定。实验室内应具备急救绷带包。在伤口比较严重、出血较多时，应在四肢伤口上部包扎止血带止血，并用消毒纱布盖住伤口，仍大量流血时特别是动脉出血应迅速送医疗单位治疗。

用止血带止血应注意每1h（上肢）或2h（下肢）必须放松1次，每次放松（1～2）min，此时用指压法止血，冬天气温低血液循环慢时0.5h 就要松1次，放松要慢。

应强调指出，分析室对于创伤的止血，只能是做一些送医务室前的准备，除小伤之外，一般都应由医务人员处理为宜。

二、中毒的急救

对中毒者的急救，主要在于把患者送往医疗单位或在医生到达之前，立即将患者从中毒物质作用区域移出，并设法排除其体内的毒物，如服用催吐剂，洗胃，洗肠，或者迅速用“解

毒剂”以消除消化器官内毒物的毒害。同时必须十分注意维持患者最重要生理系统和器官的活动，因为各种毒物对于心-血管系统和呼吸器官经常都会带来严重的影响。如果是呼吸失调和停顿，立即施行人工呼吸和使用各种刺激呼吸中枢活动的药剂，例如让患者吸入含有5%二氧化碳的氧气；如果是心脏活动失调时，必须给患者皮下注射（2～4）ml 消毒樟脑油或毛地黄注射剂。对于一些常用洗胃、催吐、催泻、吸收毒物、解毒、中和或缓冲毒物，止痛、强心用等药剂，参见本章第四节。

表12-2列举某些毒物中毒时的急救法和治疗法。表中所用药物均是医学上所用，切忌用化学试剂代替，特别是内服药；急救和治疗一般均应由医务人员进行。因农药引起的中毒，其急救常用药品列于表12-3。

表12-2　某些毒物中毒时的急救和治疗

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氯	主要通过呼吸道和皮肤粘膜对人体发生中毒作用 刺激眼结膜，流泪、羞明 鼻咽粘膜发炎、咽干、咳嗽、打喷嚏；呼吸道损害，窒息，冷汗，脉搏虚弱甚至肺水肿，心力逐渐衰竭而死亡	①立即离开有氯气的场所，脱去被污染的衣服 ②静脉注射5%葡萄糖（40～100）ml ③眼受刺激用2%苏打水洗眼；咽喉炎可吸入2%苏打水热蒸气 ④重患者保温，吸氧，注射强心剂，但禁用吗啡 ⑤并发肺炎时，应用抗菌素药剂
一氧化碳及煤气	由呼吸道经肺脏吸收而进入血液，很快形成羰基血色素，使血色素丧失运输氧的能力 轻度中毒：头痛、眩晕、有时恶心、呕吐疲乏无力，精神不振 中等度中毒：除上述症状外，迅速发生意识障碍，全身软弱无力，甚至有肢体瘫痪现象，意识不清，逐渐加深而致死 重度中毒：迅速陷入昏迷，很快因呼吸停止而死亡。有时还出现中枢神经系各种损害症状，如各种瘫痪及肌肉控制力消失，失语症，癫痫等 中毒时全身皮肤常呈鲜洋红色，时间长者也可发绀（皮肤带有一点红的黑色）	①立即将患者移至新鲜空气处，保暖不使受寒，禁用兴奋剂 ②呼吸衰竭者，应立即行人工呼吸，并给以含5%～7%二氧化碳的氧气 ③输入5%葡萄糖盐水（1500～2000）ml ④定期静脉注射1%亚甲蓝的葡萄糖溶液（30—50）ml ⑤发生呼吸循环衰竭者，同时注射盐酸山梗菜碱、尼可刹米、樟脑等强心剂 ⑥急性重度中毒者，迅速放血（200～400）ml，必要时输入等量新鲜血液 ⑦重度中毒者，可用抗菌制剂预防感染
硫化氢	经由呼吸道侵入，与呼吸酶中的铁质结合使酶活动性减弱，并引起中枢神经系统中毒 轻度中毒：头晕、头痛、恶心、呕吐、倦怠、虚弱、结膜炎，有时会发生支气管炎，肺炎肺水肿，尿中出现蛋白 重度中毒：呕吐、冷汗、肠绞痛、腹泻、小便困难、呼吸短促、心悸，并可使意识突然丧失、昏迷、窒息而死亡	①立即离开中毒区 ②呼吸治疗并注射呼吸兴奋剂如尼可刹米、盐酸山梗菜碱等 ③重者，注射0.1%阿朴吗啡1ml 催吐 ④并发支气管炎及肺炎者，应对症治疗，同时用抗菌素药剂 ⑤眼部受刺激时，立即用2%苏打水冲洗，湿敷饱和硼酸液和橄榄油
二氧化硫及三氧化硫	经由呼吸道侵入 粘膜损害：有强烈的刺激作用，结膜炎、流泪、流涕、咽干、咽痛等 呼吸道损害：气管、支气管炎症 重度中毒：喉哑、压迫感及胸痛、吞咽困难、急性支气管炎、发绀、肺浮肿甚至死亡	①立即离开中毒环境，呼吸新鲜空气，如发现肺浮肿应输氧气 ②服碳酸氢钠或乳酸钠治疗酸中毒 ③眼受刺激时，应充分用2%苏打水洗眼
氮的氧化物（主要成分为 NO，NO_2及硝酸蒸气）	通过呼吸道对深部呼吸器官起损害作用 使眼结膜、口腔、咽喉粘膜肿胀充血，能引起呼吸道的刺激症状和炎症，可能发生各种程度的支气管炎、肺炎、肺水肿，严重者可致肺坏疽 由于“NO·OH”对血红素作用而形成变性血红素，出现口唇指甲发绀、全身衰弱、眩晕等症状 由于损害神经系统，故吸入高浓度的氮氧化物时可迅速出现窒息痉挛现象而很快死亡	①迅速离开中毒地点，并保持绝对安静，甚至中度中毒时亦应如此 ②呼吸新鲜空气，必要时吸入氧气 ③立即静脉注射50%葡萄糖（20～60）ml ④发绀并有静脉充血时，为防止发生肺水肿，可放血（200～300）ml，禁用吗啡 ⑤续发肺部感染时，用抗菌素药剂 ⑥对症处理：如止咳剂，镇静剂

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氧化亚氮（笑气）	经由呼吸道侵入，对神经中枢系统起兴奋麻醉作用 耳鸣、狂妄状态，因麻醉而失去知觉，全身青紫，重者由于呼吸停止而死亡	①迅速离开中毒场所 ②行人工呼吸并使之吸入含5%二氧化碳的氧气 ③静脉注射50%葡萄糖溶液 ④皮下注射中枢兴奋剂安钠加或盐酸山梗菜碱
盐酸	经过呼吸道及皮肤 很少发生严重的化学性炎症现象；急性者刺激粘膜和皮肤，喉头有灼干感及刺痛，结膜发炎及轻微角膜损坏	①如系皮肤与盐酸接触，则迅速用水冲洗几次即能免除刺激性症状 ②误吞时，首先必须洗胃，洗胃后内服氧化镁乳剂或橄榄油
氢氰酸（或氰化物）	经过呼吸道侵入，也可从皮肤渗入 急性中毒：轻度者有粘膜刺激症状，唇舌麻木、头痛、眩晕、下肢无力、胸部压迫感、恶心、呕吐、心悸、血压上升、气喘、瞳孔放大。重者则呼吸不规则，意识逐渐昏迷，强直性痉挛，角弓反张，大小便失禁，全身反射消失，皮肤粘膜出现鲜红色彩，血压下降，可迅速发生呼吸障碍而死亡。急性中毒治愈后，还可能发生许多神经系统后遗症	①急性中毒时应立即移出毒区，脱去衣服，予以人工呼吸（不可用口对鼻的人工呼吸，以防中毒） ②呼吸困难，令吸入氧气或含5%二氧化碳的氧气，注射尼可刹米，盐酸山梗菜碱等呼吸兴奋剂 ③首先给予高铁血色素形成剂，如吸入亚硝酸异戊酯0.5ml，或静脉注入1%美蓝（即亚甲蓝）的25%葡萄糖溶液（30～50）ml，或注射新配制的（1～2）%亚硝酸钠溶液（5～10）ml，并同时静脉注射50%硫代硫酸钠（25～50）ml ④为有助于毒物排出，每隔（2～3）h静脉注射50%葡萄糖（20～40）ml ⑤内服毒物时，除以上急救方法外，还需用2%小苏打溶液或（1+5000）高锰酸钾溶液洗胃，同时用1%阿朴吗啡0.5ml催吐 ⑥皮肤粘膜受刺激时，用2%小苏打溶液或清水多次冲洗
氢氟酸（或氟化物）	可由呼吸道、胃肠或皮肤侵入人体，使牙齿、骨骼、造血、神经系统受损害 接触氢氟酸蒸气，可出现皮肤发痒、疼痛、湿疹、各种皮炎、指甲上显现灰色、青色斑点。直接接触氢氟酸则损害深入皮下组织及血管，化脓溃疡，极难治愈 吸入氢氟酸蒸气后，气管粘膜受刺激而引起支气管炎症 长期接触的慢性中毒者，全身骨骼均可受侵害，重者骨质疏松变形（即所谓氟骨病）甚至发生自发性骨折。血液中血色素和淋巴球百分比增加，而颗粒白血球减少，甚至全部消失，并可发生植物神经系各种症状。重者可以引起中毒性脑炎 误服时可引起高热，全身发紫，四肢躯干肌肉痉挛，恶心、呕吐、腹疼、腹泻。重者心脏活动衰竭，甚至虚脱	①腐蚀皮肤时，迅速用稀氨水或清水冲洗及必要的外科手术 ②误服中毒者，用2%氯化钙或稀氨水（200～300）ml洗胃，并服磷酸可待因止痛，腹部热敷等 ③静脉注射10%葡萄糖酸钙或注射10%氯化钙10ml，每日3次 ④呼吸循环衰竭时，立即吸氧，注射兴奋剂如尼可刹米咖啡因等，有气喘者，静脉注射10%碘化钠溶液（5～10）ml，隔日1次 ⑤慢性中毒及骨骼、神经、造血系统受损害者，应长期治疗
氨	可由呼吸道、消化道及皮肤粘膜侵入人体 严重刺激眼、口、喉、肺、咳嗽，声音嘶哑，声带水肿，呼吸困难，胸痛，严重时可致虚脱，心力衰竭，或窒息而死亡。皮肤接触氨水时，可以引起化学灼伤、红肿、起疱、糜烂。误服时，口腔糜烂，食道胃粘膜受腐蚀而引起剧烈疼痛、呕吐、血性腹泻等	①如系吸入氨而中毒者，应立即离开中毒场所；经皮肤接触氨而中毒者，立刻用水或稀醋酸充分洗涤，因误食中毒者，可谨慎洗胃 ②内服稀醋酸、酸果汁、柠檬汁或2%稀盐酸 误服者，可口服蛋白水、牛乳、橄榄油，并对症治疗，如止痛等 ③喉水肿呼吸十分困难时，宜作气管切开

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
砷及砷化物	可由呼吸道、消化道及皮肤侵入人体。砷慢性中毒可使消化系统及神经系统均受损害 砷化物蒸气吸入可发生黄疸、肝硬变、肝脾肿大等 吸收三氯化砷或砷化氢蒸气时，剧烈刺激鼻咽部粘膜，咳嗽，气喘，呼吸困难，眼结膜角膜发炎 误服急性中毒者，恶心，呕吐并带血，腹泻并混有大量粘液和血液，剧烈头痛，很快心力衰竭，尿闭死亡	①吸收砷化物蒸气而中毒者，立即离开现场，呼吸含5%二氧化碳的氧气或新鲜空气 ②误服急性中毒者，需立即用炭粉、硫酸铁或氧化镁悬浮液洗胃，并注射解毒剂二巯基丙醇（BAL）每日2～4次肌肉注入，每次2ml，或者注射二巯基丙磺酸钠或二巯丁二钠，对症治疗 ③无论是急性误服或慢性积累使消化呼吸系统中毒时，应静脉注射葡萄糖、氯化钙或生理盐水 ④鼻咽部损害，用1%可卡因涂局部，含碘片或1%～2%苏打水含漱或灌洗 ⑤皮肤受损害时，涂以氧化锌或硼酸软膏，有浅表溃疡者，应定期换药防止化脓
硒、碲	经由呼吸道和消化道侵入人体 硒、碲及其化合物蒸气吸入或误服时，呼吸有大蒜样臭味，精神不振，嗜睡，鼻咽粘膜有刺激作用，也可发生恶心、呕吐、腹痛、腹泻、便秘等	与砷同，并给以利尿剂
磷及磷化物	磷的粉尘、蒸气和烟雾能通过呼吸道吸入而中毒；液体磷化物由消化道或皮肤吸收侵入人体 急性中毒：主要引起肠胃与肝脏损害，误服后口腔有灼烧感，恶心，呕吐，吐中物呈黑色，便秘，呼吸气中有蒜臭，一两日后可出现黄疸，肝肿大，有压痛，也可发生呕血、便血、血尿、鼻出血等出血症状。重者神经系统中毒，嗜睡，昏迷，心率不齐，呼吸衰竭，可致死亡 慢性积累性中毒，使骨骼系统受损害，因磷侵入人体后沉着于骨骼组织，致骨质松脆，骨膜炎，骨质坏死，甚至成败血症 磷化物蒸气能刺激眼粘膜，并使皮肤产生各种程度的化学性灼伤	①误服磷中毒者，迅速用0.1%硫酸铜溶液催吐并洗胃，也可同时用（1+2000）高锰酸钾溶液洗胃 禁用油类泻剂，可用缓泻剂，如硫酸镁 ②静脉输入5%葡萄糖盐水（1000～2000）ml ③肝脏受损时，大量注射50%葡萄糖与维生素B、C、K等，也可同时注射少量胰岛素（4～8u）保护肝脏 ④有呼吸与心跳障碍时，用安钠加、尼可刹米、盐酸山梗菜碱等兴奋剂 ⑤眼粘膜损害，用2%小苏打溶液洗眼多次 ⑥磷中毒应严格禁忌脂肪、油腻饮食
二硫化碳	通过呼吸道然后被血液吸收而进入身体，或接触皮肤渗透吸收 急性中毒：头痛、急躁、多言、蹒跚、精神失常、肌肉僵木，继而不省人事，死亡 慢性中毒：为神经系统障碍，如疲劳、头晕、失眠、记忆力丧失、视觉混乱甚至失明，实际上所有神经系统，都能受它的影响	①急性中毒者，应立即移出毒区，行人工呼吸和输氧，给以饮料咖啡等，并对症处理 ②慢性中毒者，应给高度维生素量的饮食物并以维生素B作补充 ③对慢性中毒，须经过神经科、眼科医疗才能恢复痊愈
溴及溴化物	主要通过呼吸道吸入引起中毒。吸入溴蒸气后立即咽喉发干，疼痛，不断咳嗽，粘膜发红，流泪，口腔粘膜染成褐色，大量流涎，呼出的气体中有臭味。严重者发生气喘，呼吸困难，有时小叶肺炎，甚至休克或虚脱 溴直接侵害皮肤，或因吸入中毒时，均可发生各种皮疹，剧烈发痒，也可伴发全身症状 内服过量溴化物时，失去反射作用，昏睡，人事不省 误吞溴时，舌和口内粘膜均呈褐色，全部胃肠道剧疼，呕吐，泻肚，全身青紫，虚脱	①急性中毒，需立即离开现场，吸入新鲜空气、水蒸汽与氨的混合物，严重者需吸入含二氧化碳5%的氧气 ②大量饮盐水，内服牛奶，咽冰块或冰水 ③静脉注射生理盐水至少（1500～2500）ml ④呼吸道刺激时，用苏打水喷雾吸入 ⑤误吞溴时用0.5%硫代硫酸钠溶液洗胃，服用淀粉浆糊、氧化镁、碱性饮料，其他同①～④条
碘	通过呼吸道吸入碘蒸气时，呼气有特殊臭气，流鼻涕，发干，咽喉部有异物感，咳嗽，呼吸困难等 刺激眼粘膜产生结膜炎，皮肤，并发生各种类型皮疹 如果误用碘酊，口内粘膜灼伤并呈褐色，喉部浮肿，呕吐物呈暗黄色或蓝色，上腹部疼痛，腹泻有时带血，常常有血尿，虚脱，并可并发肺炎、支气管炎及出血性肾炎等	①吸收碘蒸气中毒者，立即离开毒区，呼吸新鲜空气、水蒸汽和苏打溶液的混合物 ②误服中毒者，用0.5%硫代硫酸钠溶液洗胃，再用水洗，服用淀粉糊剂、氧化镁、碳酸氢钠，注射强心剂 ③对症治疗，如贫血时治疗贫血等

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
汞及汞盐	经由呼吸道、消化道及皮肤直接吸收侵入人体 急性中毒：严重口腔炎，流涎，口觉金属味，恶心呕吐，腹痛，腹泻带血，全身衰弱，尿含蛋白质，尿量减少或尿闭，很快死亡 慢性中毒：消化系统和神经系统受损害，发生牙的疾患，齿龈带青色或出血，消化不良，贫血，腹痛，腹泻，肝肿大，神经失常，记忆力丧失，头痛，骨节痛	①急性中毒时，用活性炭，悬浮液彻底洗胃，或高压灌肠 ②立即注射二巯基丙醇（BAL），每日2～4次，50%葡萄糖溶液（20～40）ml，多次静脉注入 ③用硫酸镁（20～30）g作泻剂，每日1～2次 ④慢性中毒者，静脉注射10%硫代硫酸钠20ml，每日注射1次，（10～15）次为一个疗程 ⑤发生尿毒症现象，须注入大量生理盐水，放血，并注射强心剂 ⑥植物神经障碍显著者，静脉注射10%氯化钙，每日10ml，（10～12）次为一个疗程 ⑦口腔炎用0.25%高锰酸钾或3%过氧化氢含漱与冲洗 ⑧驱汞疗法：ⓐ5%二巯基丙磺酸钠5ml，每日肌肉注射1次，连续（3～7）d，急性中毒时，第1昼夜（3～4）次，第2昼夜（2～3）次，第3—7日每日1～2次 ⓑ二巯基丁二酸钠1g，每日静脉注射1次，连续3天，急性中毒时每日可给1g～2g分2次注射，连续3d～5d
锌及锌化合物	由呼吸道及皮肤粘膜入侵人体 吸入氧化锌粉尘蒸气可引起"金属热"，数小时后出现咽喉搔爬感，口腔内有甜味，头痛，肌肉疼痛，全身疲乏，发热，寒颤，痉挛性咳嗽，呼吸困难，持续1d～2d，有时并发支气管炎 消化系统受损害时，有恶心、呕吐、腹痛、腹泻，并能引起胃炎或使溃疡病恶化 皮肤粘膜直接接触氯化锌或硫酸锌溶液时，可产生烧灼感，疼痛，甚至产生鸡眼溃疡、鼻中隔糜烂穿孔等	①轻者不需治疗，只需安静休息，大量饮水，禁忌酸的和含二氧化碳的饮料 ②急性中毒者可用1%小苏打溶液或0.2%鞣酸洗胃 ③注射生理盐水（1000～1500）ml ④对症治疗
镉及其化合物	由呼吸道侵入人体 急性中毒：喉头和眼结膜刺痛感，头痛、头晕、咳嗽、呼吸困难等。严重者可发展为支气管肺炎或肺气肿 慢性中毒：接触后（5～8）a，以肺气肿、肾功能损害为主	①应着重防治肺水肿的发生 ②早期可给予大剂量肾上腺皮质激素 ③用乙二胺四乙酸二钙钠驱镉 ④慢性中毒，增加营养，给予维生素D（每日口服2万单位，同时每周注射6万u）及钙剂
铅及其化合物	主要经由呼吸道或消化道进入人体 口内有甜金属味，，口腔炎、流涎、齿龈边缘发青（PbS），恶心呕吐，肠绞痛，同时伴有肝肿大，疼痛，有时出现黄疸，重者脉搏减少，血压升高，尿量减少甚至虚脱 慢性铅中毒引起贫血，痉挛性便秘，肢体麻痹瘫痪及各种精神症状，甚至昏迷致死	①离开有毒区 ②用硫酸镁（25～33%）或硫酸钠洗胃，每周2～3次，每日静脉注射10%硫代硫酸钠10ml ③肠绞痛者用葡萄糖钙（10～20）ml静脉注射或用0.1%硫酸阿托品、吗啡等皮下注射 ④铅中毒性脑病需经常注射50%葡萄糖溶液 ⑤合适的饮食为治疗铅中毒最为有效的方法，例如加强营养高蛋白饮食，每日给以大量维生素B、维生素C制剂 ⑥驱铅疗法：用络合剂治疗铅中毒。 ⓐ乙二胺四乙酸二钙钠，每日1g于250ml 5%葡萄糖溶液内，用静脉滴注；3d～7d为一个疗程，休息3d～5d再继续第2个疗程，可持续（2～3）个疗程 ⓑ二巯基丁二酸钠每日1g，静脉注射1次，连续3d为一个疗程，停3d～4d，再继续第2个疗程
铬化合物	通过呼吸道和皮肤入侵。吸入含铬化合物的粉尘或溶液飞沫可使口腔、鼻咽粘膜发炎，严重者形成溃疡（鼻隔穿孔），甚至嗅觉减退或完全丧失 皮肤接触，最初出现发痒红点，以后侵入深部，继之组织坏死，愈合极慢；误服时消化系统有烧灼感，口腔粘膜增厚与水肿，呕吐，有时带血，上腹疼痛，肝肿大，重者胃与食道变窄	①皮肤损害时，先用清水或1%—2%苏打水多次冲洗，再涂以磺胺或硼酸软膏 ②鼻咽粘膜损害，可用清水或苏打水灌洗，或用硼酸水或苏打水喷雾熏气或含漱 ③误服急性中毒时，用温热水7L～10L少量多次洗胃，也可用小苏打或其他弱碱性溶液灌洗，洗胃后内服氧化镁乳剂或橄榄油 ④食道烧伤后的变窄，应用营养高的液体食物保证入量 ⑤对症治疗

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
锰化合物	主要以灰尘形式由呼吸道进入人体 主要病症为精神与神经紊乱，如头痛、精神焕散、失眠、多梦、记忆力减弱，继之以巴金森氏综合症，如动作迟钝，肌肉僵硬，震颤，步行障碍，经常前倾后倾等等	①发现有锰中毒者应停止接触有关工作 ②内服阿托品、莨菪碱或曼陀罗酊交替使用，每日3～4次，每次用（0.3～0.6）mg ③大量注射维生素 B_1 ④参照驱铅疗法，用乙二胺四乙酸二钙钠
锑及锑化合物	通过呼吸道与皮肤接触入侵 口中有金属味，咽喉、食道和胃内烧灼感，恶心呕吐，重者腹痛、便秘或腹泻，冷汗痉挛，虚脱，呼吸困难，胸痛。重者可窒息而死亡 刺激皮肤和粘膜，皮肤有搔痒、发红、湿疹、胞疮等，刺激眼睛可发生结膜炎与角膜炎 急性中毒时还可出现头晕头痛，发冷发热，四肢无力，脉搏微弱等全身症状	①急救中毒者用0.2%～0.5%鞣酸溶液洗胃，内服1%～3%鞣酸，吞入冰，内服稠米汤、蛋白水等 ②内服硫酸镁或硫酸钠（10～15）g 泻剂 ③有虚脱、全身衰竭者，用安钠加，樟脑磺酸钠、尼可刹米等中枢兴奋药注射 ④肌肉注射二巯基丙醇（BAL）、用量以每公斤体重为（2.5～5）mg 计算，最初每4h 1次，以后逐渐减少注射次数，按病情连用（7～14）d ⑤皮炎，可局部涂3%二巯基丙醇油膏；结膜炎，用5%二巯基丙醇水溶液点眼
钡盐	通过消化道误服或 X 线诊断硫酸钡中混有可溶性钡盐侵入人体 内服钡盐后消化道系有烧灼感，恶心、呕吐、流涎、腹泻，脉搏慢而强，血压下降可致心肌麻痹而死亡 表现在神经系受损害者，头痛头昏，视力减弱，全身无力麻痹，也可发生惊厥或各种程度的意识障碍，甚至昏迷致死	①急性中毒时，立即用1%硫酸钠溶液洗胃，使钡盐变为不溶性的硫酸钡 ②口服缓泻剂硫酸镁(20～30)g ③发生心力衰竭时，注射安钠加樟脑磺酸钠、尼可刹米等强心剂 ④慢性中毒全身无力麻痹者，使用氯化钾，每日(3～6)g；新司的明(prostigmium)每日(0.1～0.3)mg，内服或注射用
铍及其化合物	通过呼吸道及皮肤接触侵入人体。主要表现为咳嗽、气喘、呼吸困难等 直接接触可使皮肤产生各种类型皮炎或鸡眼状溃疡，有剧痛，愈合缓慢 慢性中毒者可以引起贫血、颗粒性白血球减少等症状	①中毒后立即离开现场 ②严重气喘、呼吸困难者使之吸氧，并肌肉注射氨茶碱0.25g ③皮炎与脱敏治疗为口服苯海拉明25mg，1日3次，或静脉注射10%硫代硫酸钠10ml，10d 为一疗程 ④对症治疗，如有贫血时按贫血治疗
镍及其化合物	主要是通过皮肤接触，引起皮炎或湿疹。局部先有剧烈瘙痒感，然后出现丘疹，疱疹及红斑	①立即停止接触，并给予抗过敏药物、维生素 C 及防护油膏 ②湿疹可局部涂布2%二巯基丙醇软膏
铊及其化合物	主要由消化道、呼吸道及皮肤吸收， 误服大剂量，12～24h 后发生恶心，呕吐、腹绞痛、腹泻。中毒量较小者，发生多发性颅神经损害和周围神经炎，四肢感觉过敏，以及脱毛、脱发等 慢性中毒：全身乏力、肢体疼痛及脱发	①误服中毒者，服1%碘化钠或碘化钾100ml，然后洗胃除碘化铊，再用普鲁士蓝每日250mg·kg⁻¹分4次口服，每次溶于15%甘露醇50ml 中 ②严重中毒可采用换血疗法或透析疗法 ③慢性中毒可用脱氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸等含硫氨基酸
银化合物	主要通过消化道侵入人体 误服硝酸银及其他银化合物时发生急性肠胃炎，口腔粘膜呈灰白色，呕吐物见光呈暗白色，同时有头昏头痛、痉挛、瘫痪等神经症状；沉积于肾脏可引起肾炎	①急性中毒者用2%氯化钠或氯化钙溶液洗胃 ②内服蛋白水、牛奶、稠米汤，用牛奶和盐或油质灌肠剂 ③内服2%氯化钙或1%～2%碘化钾，每(1～2) h (3～5) ml ④晕厥时注射安钠加和樟脑磺酸钠注射剂
乙炔（C_2H_2）	通过呼吸道侵入人体，大都由于乙炔杂质磷化氢等产生毒性效应。主要表现为中枢神经系统受损害，轻者，精神兴奋、多言、嗜睡、走路不稳等。重者，意识障碍、呼吸困难、发绀、瞳孔反应消失、昏迷、脉搏低而不正常，也表现为精神紊乱等症状	①将患者立即移往新鲜空气处，保持温暖和安静，必要时使之吸入含5%二氧化碳的氧气 ②躁动者用水合氯醛或副醛（8～10）ml 灌肠 ③注射中枢兴奋剂，如安钠加、樟脑磺酸钠等
光气（$COCl_2$）	主要由呼吸道入侵 光气反应极慢，往往数小时后症状突然加重，所以很危险 初期仅有轻微的气管，支气管刺激症状，如干咳等。随后，皮肤显著发绀，强烈肺浮肿，呼吸困难甚至窒息。鼻翼煽动，口吐血性泡沫，同时可见浅表静脉扩张，脉搏快速，血压下降，继而虚脱甚至心力衰竭而致死亡	①使中毒者半卧位，以减少氧的需要量，注意通风，但需保暖 ②不可施行人工呼吸，应使立即吸入氧气或含5%二氧化碳的氧气 ③立即注射5%～10%氯化钙或10%葡萄糖钙（5～10）ml，以矫正肺水肿，此后尚需继续注射葡萄糖盐水 ④心力衰竭者使用樟脑、咖啡因等强心剂 ⑤用甘草合剂、磷酸可待因止咳；过度躁动不安者，应用溴剂，忌用吗啡

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
氯甲烷（CH_3Cl）	主要由呼吸道入侵 急性中毒：头痛、眩晕、恶心、视力模糊、语言障碍、精神错乱等。严重时尚有烦躁不安、抽搐、血压升高、昏迷、呼气中有酮体气味，尿中出现蛋白、甚至少尿、尿闭 慢性中毒：困倦、头痛、情绪不稳定等神经衰弱症候群的表现	①迅速将患者移至新鲜空气处，注意保暖安静，部分患者即可在短时间内恢复健康 ②给予吸氧，至患者呼出气体无酮体气味为止 ③对症处理，并特别注意防治酸中毒和肺水肿。有烦躁或抽搐，可用巴比妥类镇静剂，而不宜采用水合氯醛及氯仿，避免油类及脂肪
三氯甲烷（$CHCl_3$）	主要由呼吸道入侵 急性中毒：刺激粘膜，流泪、流涎，类似酒醉，呕吐，瞳孔缩小，窒息时瞳孔放大，对光线没有反应，脉搏微弱而数稀，面苍白，呼吸减弱，体温下降，呼出的空气有氯仿气味 慢性中毒：消化不良，体重减轻，失眠，精神紊乱 误服者，呕吐、赤痢、黄疸，呼吸失调，失去知觉，脉缓，血压下降	①将患者立即移往新鲜空气处，保持温暖和安静 ②施行人工呼吸和输含5％二氧化碳的氧气 ③静脉注射2L 加热到40℃左右的生理食盐水 ④注射中枢兴奋剂如安钠加、樟脑磺酸钠等 ⑤误服者先洗胃，服盐质泻剂，施行人工呼吸，注射阿托品与肾上腺素、安钠加、樟脑磺酸钠，并静脉注射20ml 40％葡萄糖溶液，同时重复注射5个单位的胰岛素
四氯化碳（CCl_4）	通过呼吸道吸入中毒 主要引起肝脏、肾脏以及神经系统的损害 刺激鼻、眼和喉，头痛、头晕、呕吐、视力紊乱、腹泻、呕血、便血，有时出现黄疸、肝肿大、肾炎、重症者有痉挛与尿毒症出现，脉搏虚弱，意识不清，嗜睡，有时也呈错觉，幻觉等 兴奋状态，并引起各种皮炎	①急性中毒者，应立即施行人工呼吸，吸氧，必要时注射尼可刹米等强心剂 ②有肝脏损害时，用高糖、低脂肪、肉类蛋白质、高维生素饮食，同时给予胆碱、维生素 B、酵母等 ③全身症状严重者，可以使用10％葡萄糖酸钙静脉注射或静脉输入10％葡萄糖溶液 ④禁用磺胺药及肾上腺素
1，2-二氯乙烷（$CH_2Cl\cdot CH_2Cl$）	通过呼吸道吸入，也能通过完好的皮肤吸收中毒 主要引起内脏与神经系统损害 急性中毒：轻者有头痛、嗜睡、恶心、呕吐、眼鼻、咽喉粘膜轻度刺激症状，面部发红；严重者则全身无力、眩晕、剧烈呕吐、上腹部疼痛、肝肿大、心悸、血压增高、全身震颤，甚至昏迷而死亡 慢性中毒：持续性头痛、疲乏、恶心、腹泻胃肠与呼吸道出血，一般尚有肝脏症状，皮肤长期接触可产生皮炎，甚至坏死 误服者，流涎，不断呕吐胆汁，有时带血，肝肿大，有时泻肚带血，呼出气味如氯仿，痉挛，失去知觉，虚脱，由于心脏衰竭而死亡	①急性中毒应立即施行人工呼吸，吸氧，必要时注射强心剂 ②有肝脏损害时，用高糖、低脂肪、肉类蛋白质、高维生素饮食，同时服用酵母、维生素 B 及维生素 K ③全身症状严重者，尚可用10％葡萄糖酸钙静脉注射 ④慢性中毒时按慢性肝脏疾病治疗 ⑤误服时，洗胃并用盐质泻剂，使患者吸入含5％二氧化碳的氧气，保暖，静脉注射10ml 10％氯化钙溶液或（10～20）ml 40％葡萄糖溶液，必要时注射安钠加和樟脑磺酸钠 ⑥禁用磺胺药及肾上腺素
乙烯（C_2H_4）	经由呼吸道入侵人体，症状同一氧化碳	同一氧化碳
氯乙烯类： 三氯乙烯 （$CHCl=CCl_2$） 二氯乙烯 （$CHCl=CHCl$）	通过呼吸道入侵人体，两者都有强烈的麻醉作用，尤以三氯乙烯对人的毒性最大 三氯乙烯易于引起三叉神经麻痹，表现为面部感觉麻木，角膜溃疡，视神经受损，出现视力下降，有时还可引起上下肢麻木，无力，疼痛等多神经炎症状。慢性中毒者，除上述症状外，还可能产生头痛、眩晕、烦躁、震颤，重者也可发生抽风、昏迷而致死 呼吸系统受害：嗅觉减低、咳嗽、胸痛等 消化系统受害：恶心、呕吐、剧烈腹痛等	①中毒后应立即移出毒区，吸入氧气或含5％二氧化碳的氧气 ②静脉注射10％葡萄糖酸钙（10～20）ml，或静脉注入50％葡萄糖（40～60）ml ③内服蛋氨酸，每日4g～8g，连服3d 以后，每日2g～4g；乳酸钙或葡萄糖钙每日（4～8）g ④对症治疗服止痛剂、止吐剂、止咳剂、镇静剂等 ⑤出现神经麻痹感觉障碍者注射维生素 B_1，每日（50～80）mg 维生素 B_{12}，每日（100～200）μg。有运动障碍者，注射新斯的明0.5mg，每日1次，或1％地巴唑1ml，每日1次
甲醛（HCHO）	经由呼吸道或与皮肤接触而产生毒害 急性中毒：流泪、急性结膜炎、鼻炎、咳嗽、支气管炎、肺受刺激、胸内压迫、头痛晕厥 慢性中毒：视力减退、手指尖变褐色、指甲床疼痛 皮肤接触时则引起各种皮炎	①急性中毒时吸入氧气，注射葡萄糖 ②用稀的乙酸铵或3％碳酸盐溶液洗胃 ③粘膜受刺激后，用2％小苏打水洗涤或喷雾吸入 ④皮肤损害时，用氧化锌、硼酸软膏等治疗

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
乙醛（CH_3CHO）	经由呼吸道或与皮肤接触而产生毒害 急性中毒：鼻腔、咽喉的刺激症状、嗅觉丧失，严重者可有胸闷、气急、剧烈咳嗽，咯泡沫痰等支气管炎或肺水肿的症状。也可有头痛、嗜睡、甚至神志不清 慢性中毒：幻听、记忆力减退、步态不稳和食欲丧失等	①将患者尽快移至新鲜空气处，以5%碳酸氢钠溶液雾化吸入 ②有肺水肿，可静脉注射速尿或利尿酸 ③支气管痉挛可注射氨茶碱 ④误服者，可用2%碳酸氢钠溶液或活性炭洗胃 ⑤皮肤接触可以用大量清水冲洗
丙酮（CH_3COCH_3）	主要通过呼吸道入侵人体 轻度中毒：眼及上呼吸道粘膜受刺激，如流泪、流涕、畏光，显现麻醉作用，感觉头痛 重度中毒：晕厥、嗜睡、痉挛，尿中出现蛋白和红血球	移往新鲜空气处休息
甲醇（CH_3OH）	通过呼吸道及皮肤吸收中毒 吸入蒸气中毒，主要为神经系统症状：剧烈头痛、头昏、恶心、耳鸣、视神经受损害最明显，视力模糊，重者可以完全失明 误服中毒：（5～10）ml即可产生严重症状，恶心、呕吐、全身皮肤产生显著青紫，呼吸深而困难，脉搏弱而快，四肢痉挛，重者即很快呼吸停止而死亡	①急性误服中毒者，立即洗胃，吸入氧气，放血并输入生理盐水或葡萄糖盐水，也可静脉注入1%亚甲蓝溶液（5～10）ml，或肌肉注射高锰酸钾溶液（5～10）ml ②维持血液的pH值。内服大量的碱性水饮料，静脉注射3%小苏打溶液（50～60）g，以后每小时注入（7～10）g ③神经系统症状明显者，用多次腰椎穿刺，减轻脑水肿，同时须注射维生素B_1、B_2、烟酸、维生素C等 ④吸入蒸气中毒者，应立即移出毒区，除上述治疗外，注射解毒剂
乙二醇（$HOCH_2CH_2OH$）	主要通过消化道 开始时微醉，经（4～6）h后，胸下部疼痛，呕吐，非常渴，腰痛，知觉模糊，兴奋，面部和结膜充血。枕肌僵硬，，排泄大小便失去控制能力，心脏活动下降。尿出现强烈酸性反应与蛋白，沉淀内有红血球和非典型的草酸盐晶体	①先洗胃，必要时放血，并服用碱性饮料 ②静脉注射500ml 5%碳酸氢钠溶液 ③注射中枢兴奋剂安钠加，樟脑磺酸钠等 ④对症治疗：止痛、止吐等
甲酸（HCOOH）	主要通过呼吸道入侵人体，对眼、鼻、口腔粘膜有强烈的刺激作用，轻者可发生流泪、流涕、喷嚏、咽喉痛、嘶哑、咳嗽等症状，重者发生胸闷、胸痛、胃灼热感，嗳气、恶心、多酸症状 接触皮肤时引起剧烈的烧灼感，疼痛；重者能发泡，甚至烧伤	①眼、鼻、口腔、咽喉粘膜受刺激时，先用清水冲洗，再用2%小苏打水冲洗或喷雾吸入 ②皮肤损害者，先用大量水冲洗，灼伤者涂敷3%硼酸溶液
乙酸（醋酸）（CH_3COOH）	主要通过呼吸道侵入人体，急性吸入醋酸蒸气可引起剧烈的干咳，有时甚至呼吸困难。慢性吸入，可引起萎缩性鼻炎、咽炎、喉炎、气管炎与支气管炎。刺激眼粘膜引起结膜炎症 误服时，引起全身中毒症状，如急性呕吐、血性腹泻、溶血现象，甚至休克而死	①全身性中毒者，须立即注射安钠加、樟脑磺酸钠或肾上腺素 ②内服中毒者，首先用温热水7L～10L洗胃，原则上少量多次 ③呼吸道损害时，除用一般镇咳剂外，应用2%碳酸氢钠溶液含漱，声带有水肿时，需用喷雾器将2%上述溶液喷入 ④眼损害时，用温水冲洗，伴有结膜水肿者，尚需加用湿冷敷和消炎软膏
一氯醋酸（$CH_2Cl\cdot COOH$）和三氯醋酸（$CCl_3\cdot COOH$）	侵入人体途径和醋酸类似 中毒症状：主要是刺激皮肤、眼、鼻及上呼吸道粘膜，引起流泪、流涕、喷嚏、咽喉作痛、声音嘶哑、剧烈咳嗽、胸痛与压迫感。体质过敏者，尚能出现呼吸困难、哮喘与全身皮疹等现象 此外三氯醋酸与皮肤接触，易引起烧伤，其作用类似强酸	与乙酸同；皮肤、粘膜均宜用大量清水洗涤
草酸（$H_2C_2O_4$）	主要通过呼吸道入侵中毒 口腔和咽喉灼烧，舌及口腔粘膜呈灰白色。呕吐物常常带血或呈褐色，腹部剧痛、尿闭和尿少。胸部压迫感、呼吸困难、脉缓、体温下降、痉挛、瞳孔放大、虚脱	①服用石灰乳，石灰水，白垩及泻剂蓖麻子油 ②静脉注射5%～10%的氯化钙或乳酸钙溶液或5%～10%葡萄糖酸钙 ③注射中枢兴奋剂安钠加、樟脑磺酸钠 ④服用利尿剂

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
亚硝酸酯（常见者为亚硝酸乙酯、亚硝酸丁酯和亚硝酸异戊酯）	主要通过呼吸道及皮肤吸收而中毒 急性中毒者：剧烈的搏动样头痛、心悸、脉搏加速，头面部发热感，严重者血压下降、胸闷、呼吸困难，甚至虚脱，血内形成变性血红蛋白，有时皮肤呈棕紫色；表现在神经系统损害者，轻者发生眩晕、无力、视听力减弱；重者手足震颤，瞳孔放大或意识不清。以亚硝酸异戊酯的中毒表现最为明显 慢性中毒者：以顽固性头痛最多，其他症状与急性中毒者类似，但较少发生心血管系统或神经系统症状	①急性中毒者立即离开毒区使之吸氧 ②出现呼吸困难或循环衰竭者，立即注射中枢兴奋剂尼可刹米、盐酸山梗菜碱或安钠加，同时静脉滴注生理盐水或5%葡萄糖等液体 ③皮肤显著发绀者，静脉注入1%亚甲蓝（5～10）ml或10%硫代硫酸钠10ml ④慢性中毒者，每日注射50%葡萄糖（40～60)ml，维生素C（100～300)mg
硫酸二甲酯 $(CH_3O)_2SO_2$	经由呼吸道及皮肤吸收而中毒 皮肤溃疡，眼、鼻、咽喉部粘膜肿胀、充血、喉哑，剧烈咳嗽，支气管炎，肺浮肿，头痛，意识紊乱，嗜睡，肢体麻痹，甚至昏迷而死	①中毒时应立即离开毒区，呼吸新鲜空气，更换工作服 ②眼部损害者，立即用2%小苏打溶液多次冲洗，以后滴入0.5%盐酸地卡因点眼，也可试用0.5%可的松或氢化可的松溶液 ③呼吸道损害者，可用盐酸地卡因溶液或用复方安息酸酊喷入，含碘喉片或青霉素片 ④全身症状严重者需吸入氧气，静脉输入5%葡萄糖或输血 ⑤神经系统受损害者，注射维生素 B_1、B_{12}与谷氨酸
磷酸三丁酯 $(CH_3CH_2CH_2CH_2O)PO_4$	主要由呼吸道与皮肤吸收引起中毒 强烈刺激眼、鼻、咽喉粘膜及皮肤，引起大量流泪、羞明、眼内刺痛，鼻喉发干与刺痛，咳嗽，呼吸不畅，饮食无味，并产生皮炎及湿疹	同硫酸二甲酯
苯（C_6H_6）及其同系物（如甲苯 $C_6H_5 \cdot CH_3$）	通过呼吸道及皮肤渗透侵入人体而产生毒害 急性中毒者：沉醉状，惊悸面色苍白，继以面红、耳鸣、头晕、头痛、呕吐、视力紊乱，步态蹒跚，甚至肌肉抽搐，或肢体痉挛，很快昏迷而死 慢性中毒者：其中以造血器官与神经系统损害最为显著；衰弱、头晕、头痛、疲乏、失眠或嗜睡、记忆力减退，体重减轻；齿龈、鼻腔、直肠出血，妇女则子宫出血，月经过多；红血球数减少，血红素下降，血小板数明显减少，白血球也减少；血管、心脏、肝、肾均受损害，极易感染病患。神经系统严重受损者，可发生共济失调，感觉障碍，联合硬化症，多发性神经炎及出现各种锥体束病理	①急性苯及其同系物中毒者，应立即施行人工呼吸，同时输入氧气，并注射盐酸山梗菜碱与尼可刹米（忌用肾上腺素），给以热饮料 ②慢性贫血者，内服硫酸铁，注射肝精、维生素 B_{12}，或少量多次输血 ③颗粒性白血球减少者，可用各种核苷酸 ④大量维生素C，内服与注射，并给以含钙量高的营养食物 ⑤全身性苯中毒者，静脉注射10%硫代硫酸钠 ⑥伴有继发感染时，可用磺胺或青霉素注射 ⑦皮肤损害者，用清水多次洗涤，涂敷白色洗剂或炉甘石洗剂
苯酚（C_6H_5OH）	主要通过呼吸道及皮肤接触而中毒 刺激皮肤及粘膜，皮肤接触呈白色灼伤，如不立即清除，将引起局部糜烂，极难治愈 慢性中毒者：恶心呕吐，消化障碍，心悸、昏迷、思想紊乱、肾炎、肝脏退化、贫血及各种神经系症状，甚至可昏迷致死 误服者，在严重情况下不省人事，失去知觉，并由于中枢神经系统瘫痪而引起惊厥呼吸停止直至死亡	①皮肤损害时，立即用2%苏打水或生理盐水冲洗 ②咽喉有刺激症状时，用2%苏打水含漱或用喷雾器喷入 ③误服者须用炭末、氧化镁或硫酸钠（$30g \cdot L^{-1}$）洗胃，直到酚的气味消失为止，继续饮服柠檬糖浆，使受害者保持安静、温暖，不可给以油质饮料 必要时使呼吸含5%二氧化碳的氧气
苯甲酸（C_6H_5COOH）	主要对皮肤与呼吸道有刺激作用 流泪、眼红、眼痛、咳嗽，酸蒸气吸入时尚感恶心、呕吐，皮肤接触时，有轻度皮炎、湿疹等	同乙酸
苯甲酸酯类（如苯甲酸乙酯 $C_6H_5COOC_2H_5$，苯甲酸 β-萘酯）	主要通过呼吸道或与皮肤接触而引起毒害 鼻、咽部刺激后，粘膜肿胀、流涕、声音嘶哑、咳嗽等。接触皮肤后产生各种皮炎或湿疹，重者能形成溃疡	同硫酸二甲酯

续表

毒物名称	毒物的侵入途径与中毒主要症状	急救法和治疗法
硝基苯及苯的其他硝基化合物〔$C_6H_5NO_2$，$C_6H_4(NO_2)_2$〕	通过呼吸道与皮肤透入 急性中毒者：头痛、眩晕、眼花、恶心呕吐、发绀、脉搏失常、血压降、指甲床和上下唇均发紫。严重者呼吸困难，意识障碍，小便暗黑，血中变性血色素增多，脉搏虚弱而细，最后失去知觉而死亡 慢性中毒者：面色苍白、贫血、劳损、厌食、头痛、黄疸、嗜睡等；此外，皮肤也可发生各种皮炎	同苯
苯胺及其衍生物($C_6H_5NH_2$及甲基苯胺，二甲基苯胺，二乙基苯胺，二氨基甲苯，一氯苯胺，二氯苯胺)	主要通过呼吸道与皮肤接触入侵人体而引起中毒 急性中毒者：头痛、恶心、呕吐、发绀、惊悸、脉搏加快、血压增高，严重时意识不清，伴有阵发性痉挛和抽搐，体温下降，瞳孔放大，很快死亡 慢性中毒者：造血系统损害，血液中毒，红血球数目渐渐减少，红血球大小不均，血色素变为变性血色素；泌尿系统损害，排尿困难、血尿、尿频，少数人发生尿道前列腺癌或膀胱癌；神经系统受损害者有各种神经官能症出现及植物神经系统功能失调。皮肤亦能发生各种接触性皮炎	①急性中毒者需立即放血，吸入氧气。呼吸障碍者立即施行人工呼吸 循环衰竭时，用肾上腺素、安钠加等迅速注入，禁忌含酒精饮料或油类食物 ②静脉点滴生理盐水或5%葡萄糖盐水，发绀者，需静脉注射1%亚甲蓝溶液（5～10）ml或10%硫代硫酸钠10ml ③慢性中毒者，需长期内服各种维生素或每日注射50%葡萄糖（40～60）ml，必要时少量多次输血
苯肼($C_6H_5NHNH_2$)	主要通过呼吸道与皮肤引起人体中毒 轻度中毒者：头昏、头痛，面色苍白，暂时性腹泻、腹痛及食欲不振，数天后即痊愈 重度中毒者：造血系统与神经系统受损害，表现严重贫血，血液中发现变性血红蛋白，唇与指甲、鼻尖有青紫现象，或剧烈头痛，耳鸣眩晕，眼球震颤，舌有抽搐，全身无力，意识紊乱，严重者可致死亡 皮肤接触发生丘疹，水疱湿疹，常沿淋巴管蔓延及全身，伴有搔痒及流水等 对眼、鼻、咽喉粘膜也有刺激作用	①发现中毒时立即离开毒区，并吸入新鲜空气 ②严重中毒者需放血（200～400）ml，吸入氧气或含有5%二氧化碳的氧气 ③静脉点滴生理盐水或葡萄糖溶液有青紫现象者，同时注射1%亚甲蓝溶液（5～10）ml或10%硫代硫酸钠溶液10ml ④腹痛腹泻者，立即内服活性炭末（10～20）g，也可使用5%颠茄酊10ml或硫酸阿托品0.5mg皮下注射 ⑤慢性中毒引起贫血者，需长期服用铁剂、肝精与维生素B_{12}，严重者少量多次输血 ⑥慢性中毒发生神经系统症状者，需长期注射维生素B_1、B_{12}、葡萄糖等
石油烃类(石油产品中的各种饱和或不饱和烃)	主要通过呼吸道与皮肤接触而引起中毒 急性中毒：主要是吸入高浓度汽油蒸气，立即出现头痛、头晕、心悸、思想紊乱、肌肉震颤、抽搐等症状，有时还引起咳嗽、咯血、呼吸困难、恶心呕吐、体温下降、血压下降，甚至致死；其他石油产品很少引起全身性急性中毒 一般石油烃类均能引起呼吸系统、造血系统、神经系统与刺激皮肤和粘膜等慢性中毒症状 某些滑润油和石油残渣长期刺激皮肤，甚至可发生皮肤癌瘤	①急性中毒出现呼吸困难或意识不清时，立即吸氧或含5%二氧化碳的氧气。呼吸衰竭者，施行人工呼吸同时静脉注射盐酸山梗菜碱素、尼可刹米等中枢兴奋剂 ②血压下降引起休克者，立即注射安钠加、尼可刹米，同时静脉注射或点滴葡萄糖溶液，禁用肾上腺素 ③剧烈呕吐者静脉注射50%葡萄糖（40～60）ml ④造血系统受损者，内服硫酸亚铁，注射肝精、维生素B_{12}，或少量多次输血 ⑤粘膜受刺激时，应用碳酸氢钠溶液喷雾吸入，或用2%～3%该溶液滴眼或鼻 ⑥皮肤损害时，用清水或苏打水洗涤，涂敷白色洗剂或炉甘石洗剂

表12-3　某些农药中毒常用急救药品及用法

药　品	剂　型	用　途	使用方法	备　注
硫酸阿托品	片剂 注射剂	有机磷和氨基甲酸酯类农药中毒的拮抗剂	1mg口服或静脉注射	中毒病情未见好转，（15～30）min可重复注射至硫酸阿托品化为止
解磷定	注射剂	有机磷中毒解毒复能剂	0.8g缓慢静脉注射	可加5%葡萄糖（500～1000）ml作静脉注射
氯磷定	注射剂	有机磷中毒解毒复能剂	0.75g肌肉注射	

续表

药　品	剂　型	用　途	使用方法	备　注
二巯基丁二酸钠	注射剂	汞中毒解毒剂	$1g\cdot d^{-1}$，分2次静脉注射	
二巯基丙磺酸钠	注射剂	汞中毒解毒剂	5%二巯基丙磺酸钠水溶液$5ml\cdot d^{-1}$，分2次肌肉注射，连用三天休息四天为一疗程	按病情不同治三、四个疗程，休息1个月，使尿汞恢复至$0.01mg\cdot L^{-1}$以下为痊愈
二巯基丙醇（BAL）	注射剂	砷中毒解毒剂	(2.5～3) $mg\cdot kg^{-1}$体重，肌肉注射	第1、2日4h 1次，第3日改为每6h1次，第4至10日改为每日2次，直至恢复为止
亚硝酸戊酯	吸入剂	氢氰酸中毒专用解毒药	用棉花吸入7～10滴，放在病人鼻部	
硫酸铜	口服	磷化锌解毒用	口服1%硫酸铜溶液，每5min1汤匙，直至呕吐或用0.05%～0.1%硫酸铜液洗胃	
石灰水		氟毒剂解毒用	洗胃	
新斯的明	注射剂 1ml0.5mg2ml1mg	硫酸阿托品中毒的解毒药	每次（0.5～2）mg，肌肉注射	
通用解毒药：（配方一） 硫酸铁饱和溶液10份 煅制镁（氧化镁）9份 动物活性炭（骨炭）5份 水50份		尚无适当解毒剂时可以服用 对碱物质中毒时不适用	一般每5min饮1汤匙，危急时应先多饮些，视情况再饮或停饮	服用通用解毒药，仅是一种救急的办法，应寻求专用或特效解毒药。服用通用解毒药后，仍应立即送医疗单位，以免延误而造成不幸事故
通用解毒药：（配方二） 活性炭2份 氧化镁　1份 鞣酸　1份 （如无鞣酸可用浓茶代替）	口服	尚无适当解毒剂时可以服用；对碱物质中毒时不适用	取该药15g，与半玻璃杯的温开水调和后服用	同上
冬眠灵	注射剂 1ml 25mg 2ml 50mg	镇静	每次0.025g～0.05g，肌肉注射或静脉滴注	
尼可刹米（可拉明）	注射剂 1ml 0.25g 1.5ml 0.375g	用于中枢性呼吸及循环衰竭	（1～1.5）ml，肌肉注射	
盐酸山梗菜碱	注射剂1ml 3mg 1ml 10mg	兴奋呼吸中枢	（2～5）mg，肌肉注射或静脉注射	
重酒石酸去甲基肾上腺素	注射剂	升压	（4～8）mg 加5%葡萄糖溶液（500～1000）ml，静脉滴注	每分钟不得超过0.025mg

主要参考文献

1. B. П. Никольский 主编，陶坤译．苏联化学手册，第三册．北京：科学出版社，1963．
2. 马克·J·利菲尔著．王兰芬译．化学事故急救手册．北京：化学工业出版社，1987．
3. 中毒防治编写组编．中毒防治．杭州：浙江科学出版社，1981．

第四篇　实验室标准化管理

第十三章　计量检测与质量检验

第一节　计量、测量、测试和质量检验

1.计量　实际上就是实现单位统一和量值准确可靠的测量。计量属于测量的范畴，但是一种特殊形式的、为使测量的单位量值在允许的公差范围内溯源到基本单位的测量，它可以理解为“以实现单位统一、量值准确可靠为目的的测量，涉及整个测量领域；或者说：保证单位统一、量值准确可靠的测量，它对整个测量领域起指导、监督、保证和仲裁作用”。由此可见，计量不同于一般测量，它要求量纲统一、量值准确，其对象不是一般的产品，而是具有某一精度级别的测量手段。

2.测量　是以确定被测对象量值为目的的全部操作。随着人类的进步，人们把确定的已知量定为某一量的单位量，通过它和另一个未知量相比较而使未知量成为已知量，并将该量的大小用“量值”表达。“量值”的定义为“由数值和计量单位的乘积所表示的量的大小”，量值成为自然现象和物体可定性分析及定量测定的一种属性。因此，测量就不仅仅局限于单独的物理量的测量，而要对多种量同时进行定性、定量的综合测定。

3.测试　是具有试验性质的测量，也就是在科研生产中，为确定物体的特性所进行的具有试验过程和研究性质的测量，包括定性分析、定量测定，是测量和试验的全过程。

测试与测量是有联系也有区别的。测试的目的往往是为了解决科研和生产中的问题，确定物质、材料、仪器、设备的某些性能，选择生产环节的最佳方案，或分析某一产品的质量问题等。产品质量检验属于测试活动的一种，可以是单项测试，也可以是综合测试。在测试过程中，试验和测量是交叉进行的。

4.质量检验　是对产品进行检测、检查、试验或将产品的质量特性与规定要求进行比较的过程。其目的是要科学地把握产品的特性，从而剔除那些不符合要求的产品，确保产品质量能达到标准要求。质量检验分为生产检验（第一方检验）——生产者的检验；验收检验（第二方检验）——消费者和买方的检验；第三方检验——独立于卖方或买方的机构进行的检验。其中，通过行政的或法律的规定而进行的质量检验称为监督检验。

第二节　计量器具及其检定

一、计量器具

计量器具是用来测量并能得到被测对象确切值的一种工具或装置。其测量方法可以是直接测量，也可以是间接测量，即通过测量两个以上的量再用公式计算后得到另一个所需的量。因此，把凡能用以直接或间接测出被测对象量值的技术装置（即量具、用于统一量值的标准物质、计量仪器仪表、计量装置的统称）称为计量器具。计量器具有特点是：①用于测量；②为了确定被测对象的量值；③本身是一种技术装置。计量器具所显示或指示的最低值到最高值

的范围称为示值范围。在允许误差限内计量器具的被测量值的范围称为测量范围。

计量器具按计量学用途可分为：计量基准、计量标准、工作用计量器具。

1.计量基准　一般又分为国家基准、副基准和工作基准。用来复现和保存计量单位，具有现代科学技术所能达到的最高准确度，经国家鉴定并批准，作为统一全国计量单位量值的最高依据的计量器具称为国家计量基准。所谓复现就是把计量单位从定义变为实物。通过直接或间接与国家基准比对来确定其量值，并经国家鉴定批准的计量器具称为副基准。经与国家基准或副基准校准或比对，并经国家鉴定，实际用以鉴定计量标准的计量器具称为工作基准。国家计量基准是全国量值溯源的最终端，它是统一全国量值的最高依据。建立副基准的目的主要是代替国家基准的日常使用，也可用于验证国家基准的变化。工作基准主要是用于一般的量值传递，即检定计量标准，以防止国家基准或副基准由于使用频繁而丧失其应有的准确度或遭到损坏。

2.计量标准　是按国家规定的准确度等级，作为检定依据用的计量器具或物质。其目的是将基准所复现的单位量值通过检定逐级传递到工作用计量器具，从而确保工作用计量器具量值的准确和一致，以保证国民经济各部门中所进行的测量达到统一。

3.工作用计量器具　是不用于检定工作而只用于日常测量的计量器具。计量器具只有在准确一致的基础上才有使用价值，这就需要对计量器具进行计量检定——为评定计量器具的计量性能（准确度、稳定度、灵敏度等）并确定其是否合格所进行的全部工作。“检定”是统一量值、确保计量器具准确一致的重要措施，也是对全国计量实行国家监督的一种手段，它具有法制性。根据我国计量立法的基本原则之一——“统一立法、区别对待”，以及各种计量器具的不同用途及可能对社会产生的影响程度，对计量器具的检定采取了“强制检定”和“非强制检定”这两种法制管理的形式。

二、计量器具的强制检定

强制检定是由县级以上政府计量行政部门指定的计量检定机构对强制检定范围内的计量器具所实行的定点定期检定。

强制检定的计量器具包括：①社会公用计量标准器具；②部门根据需要建立的最高计量标准；③企业、事业单位根据需要建立的最高计量标准器具；④用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测四个方面并列入《中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录》内的55类111种工作计量器具，见表13-1。

对列入强制检定范围的计量器具，使用单位不能自由选择检定单位，必须将社会公用计量标准和最高计量标准送主持考核的单位指定或授权的技术机构进行周期检定。其周期长短由执行强制检定的计量检定机构根据计量检定规程确定。执行强制检定的机构对检定合格的计量器具发给国家统一规定的检定证书、检定合格证或者在计量器具上加盖检定合格印。对检定不合格的则发给检定结果通知书或者注销原检定合格证、印。

表13-1　中华人民共和国强制检定的工作计量器具明细目录

编号	种类	具体工作计量器具
1	尺	竹木直尺、套管尺、钢卷尺、带锤钢卷尺、铁路轨距尺
2	面积计	皮革面积计
3	玻璃液体温度计	玻璃液体温度计
4	体温计	体温计

续表

编号	种类	具体工作计量器具
5	石油闪点温度计	石油闪点温度计
6	谷物水分测定仪	谷物水分测定仪
7	热量计	热量计
8	砝码	砝码、链码、增砣、定量砣
9	天平	天平
10	秤	杆秤、戥子秤、案秤、台秤、地秤、皮带秤、吊秤、电子秤、行李秤、邮政秤、计价收费专用秤、售粮机
11	定量包装机	定量包装机、定量灌装机
12	轨道衡	轨道衡
13	容重器	谷物容重器
14	计量罐、计量槽车	立式计量罐、卧式计量罐、球形计量罐、汽车计量罐车、铁路计量罐车、船舶计量仓
15	燃油加油机	燃油加油机
16	液体量提	液体量提
17	食用油售油器	食用油售油器
18	酒精计	酒精计
19	密度计	密度计
20	糖量计	糖量计
21	乳汁计	乳汁计
22	煤气表	煤气表
23	水表	水表
24	流量计	液体流量计、气体流量计、蒸汽流量计
25	压力表	压力表、风压表、氧气表
26	血压计	血压计、血压表
27	眼压计	眼压计
28	汽车里程表	汽车里程表
29	出租汽车里程计价表	出租汽车里程计价表
30	测速仪	公路管理速度监测仪
31	测振仪	振动监测仪
32	电度表	单相电度表、三相电度表、分时计度电度表
33	测量互感器	电流互感器、电压互感器
34	绝缘（接地）电阻测量仪	绝缘电阻测量仪、接地电阻测量仪
35	场强计	场强计
36	心脑电图仪	心电图仪、脑电图仪
37	照射量计	照射量计、医用辐射源
38	电离辐射防护仪	射线监测仪、照射量率仪、放射性表面污染仪、个人计量计
39	活度计	活度计
40	激光能量、功率计	激光能量计、激光功率计、医用激光源
41	超声功率计	超声功率计、医用超声源
42	声级计	声级计
43	听力计	听力计
44	有害气体分析仪	CO 分析仪、CO_2分析仪、SO_2分析仪、测氢仪、H_2S测定仪
45	酸度计	酸度计、血气酸碱平衡分析仪
46	瓦斯计	瓦斯报警器、瓦斯测定仪
47	测汞仪	汞蒸气测定仪
48	火焰光度计	火焰光度计
49	分光光度计	可见光分光光度计、紫外分光光度计、红外分光光度计、荧光分光光度计、原子吸收分光光度计
50	比色计	滤光光电比色计、荧光光电比色计

续表

编号	种类	具体工作计量器具
51	烟尘、粉尘测量仪	烟尘测量仪、粉尘测量仪
52	水质污染监测仪	水质监测仪、水质综合分析仪、测氰仪、溶氧测定仪
53	呼出气酒精含量探测器	呼出气体酒精含量探测器
54	血球计数器	电子血球计数器
55	屈光度计	屈光度计

三、计量器具的非强制检定

非强制检定则是由使用单位对强制检定以外的其他依法管理的计量器具自行进行的定期检定。非强制检定虽然在管理形式上与强制检定不同，但仍然具有强制性，仍必须进行定期的检定，不规定周期、不进行定期检定或经检定不合格而继续使用的，都是违法行为。

非强制检定的计量器具包括：①企、事业单位的次级标准（低于最高标准）的计量标准装置；②除强制检定的工作计量器具以外的、属于《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》范畴内的计量器具。表13-2列出了其中与分析化学相关的部分非强制检定的计量器具。

非强制检定的计量器具可由企、事业单位根据情况制定本单位管理的计量器具明细目录及相应的检定周期（不得超过计量检定规程规定的最长期限），以保证使用的非强制检定的计量器具的定期检定。使用单位可根据经济合理、就地就近的原则自行选择有合法对外出具检定证书的单位承担或自行检定，若自行检定则应建标并考核合格。

表13-2　与分析化学相关的部分非强制检定的计量器具

种类	非强制检定的计量器具名称
1.长度计量器具	干涉仪、稳频激光器、工具显微镜、读数显微镜、光学计、锥度测量仪、孔径测量仪、比较仪、测微仪、光学仪器检具、尺、基线尺、光栅尺、光栅测量装置、磁尺、卡尺、千分尺、百分表、千分表、测微计、平尺、千分尺检具、百分表检定器、千分表检定仪、测微仪检定器、准直仪、角度块、角度规、直角尺、正弦尺、方箱、水平仪、象限仪、直角尺检定仪、水平仪检定器、塞规、卡规、环规、塞尺、半径样板、测厚仪、面积计等
2.热学计量器具	热电偶、热电阻、温度计、高温计、辐射感温器、温度计检定装置、电子电位差计、电子平衡电桥、高温毫伏计、比率计、温度指示调节仪、温度自动控制仪、测温电桥热量计、比热装置、热物性测定装置、热流计、热象仪等
3.力学计量器具	砝码、天平、秤、称重传感器、台秤检定器、量器、注射器、计量罐、容重器、密度计、酒精计、乳汁计、糖量计、盐量计、压力计、压力真空计，气压计、微压计、压力表、压力真空表、微压表、压力变送器、压力传感器、压力表校验仪、真空计、流量计、流速计、流量二次仪表、流量变送器、流量检定装置、标准体积管、硬度块、压头、硬度计、转速表检定装置、速度表、测速仪、转速表等
4.电磁学计量器具	标准电池、标准电压源、标准电流源、标准电功率源、标准电阻、电阻箱、标准电容、测量用可变电容器、电容箱、标准电感、标准互感线圈、电感箱、电位差计、标准电池比较仪、电桥、电阻测量仪、欧姆表、毫欧表、兆欧表、高阻计、电表检定装置、电流表、毫安表、微安表、电压表、毫伏表、微伏表、电功率表、频率表、功率因数表、相位表、检流计、万用表、互感器校验仪、互感器校验仪检定装置、测量互感器、直流分压箱、分流计等
5.无线电计量器具	高频毫伏表、标准信号发生器、高频阻抗分析仪、高频标准电阻、高频标准电感、高频标准电容、Q表、高频Q值标准线圈、高频介质标准样片、高频微波功率计、高频微波功率指示器、高频微波功率计校准装置、晶体管参数测试仪、电视综合测试仪、电视参数测试仪、示波器、示波器校准仪等
6.时间计量器具	时间间隔计数器、秒表、电子毫秒表、电子计时器等
7.光学计量器具	标准色板、色差计、白度计、测色光谱光度计、标准滤色片、感光度标准、感光仪、光密度计、激光能量计、激光功率计、折射计等

续表

种类	非强制检定的计量器具名称
8. 物理化学计量器具	电导仪、酸度计、离子计、电位滴定仪、库仑计、极谱仪、伏安分析仪、比色计、分光光度计、光度计、光谱仪、旋光仪、折射率仪、浊度计、色谱仪、电泳仪、烟尘粉尘测量仪、粒度测量仪、水质监测仪、测氧仪、气体分析仪、瓦斯计、测汞仪、测爆仪、呼出气体酒精含量探测器、熔点测定仪、水分测定仪、湿度计、标准湿度发生器、露点仪、粘度计、测量用电子显微镜、X光衍射仪、能谱仪、电子探针、离子探针、质谱仪、波谱仪等
9. 标准物质	钢铁成分分析标准物质、有色金属成分分析标准物质、建材成分分析标准物质、核材料成分分析与放射性测量标准物质、高分子材料特性测量标准物质、化工产品成分分析标准物质、地质矿产成分分析标准物质、环境化学分析标准物质、临床化学分析与药品成分分析标准物质、食品成分分析标准物质、煤炭石油成分分析和物理特性测量标准物质、物理特性与物理化学特性测量标准物质、工程技术特性测量标准物质等

四、计量器具的校验

计量器具的校验是指在尚没有检定系统和检定规程的条件下，评定计量器具的计量检测性能，确定其是否合格，根据需要所进行的全部工作。根据我国的实际情况，计量器具的校验分为通用计量器具的校验、专用计量器具的校验和标准物质的使用。

（一）通用计量器具的校验

通用计量器具指的是《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》所指的第1至第10类计量器具。其校验（和检定）须按以下原则进行：

（1）本单位的最高计量标准器具必须按《计量法》的规定经有关人民政府计量行政部门考核合格，并具有有效的合格证书。

（2）其他标准和工作计量器具可以自检或自校，也可送法定计量检定机构进行检定或校验。

（3）凡本单位具有检定系统表中所规定等级的合格的计量标准器，有取得相应项目的检定员证件的人员和合适的环境条件的，可以自行对这个项目的计量检测仪器进行检定，自检合格的贴合格标志。

（4）其他计量检测仪器可以自行校验。自校仪器必须有相应的计量标准器和验校方法，由从事该项目5年以上的技术人员进行。校验环境条件也要符合要求。

（5）自校工作中计量标准器量程不够时，校验超过部分，经扩展其量程，其准确度能满足要求者，可以给出扩大量程后的校验结果，同时必须给出扩大量程部分的误差分析材料，被校仪器准予使用；当计量标准器的量程虽然不能满足计量器具的全部要求，但能满足使用单位需要的部分量程时，可以只在这段量程内校验，被校验计量器具也需限定量程使用。

（6）对于没有校验用计量标准器的，则可采用：

①用于综合检验的计量检测仪器，可通过对基本参数的校验来进行。如果这类仪器本身带有自校程序，还必须包括用自校程序进行自校。

②可以通过3台以上的计量、检测仪器的比对，判断其比对结果是否在允许误差范围内。

③国内同种仪器少于3台者，可以根据制造厂的技术条件进行校验。

凡按照②、③校验的仪器，其校验证书上只能给出准用的结论，同时只贴准用标志。

（二）专用计量器具的校验

专用计量器具的校验原则上以自校为主，也可以与法定计量机构合作进行。但不论是自校还是合作进行，都必须满足以下条件：

①有相应的合格的校验用的计量标准器；

②按规定要求制定好《计量器具校验方法和试验设备检验方法》，并已报送计量管理机构和当地省级计量行政部门备案；

③有经考核合格的人员；

④有合适的校验环境条件。

对某些特殊的专用计量器具，为了统一量值的需要，经济合理地解决这种专用计量器具的校验问题，国家专门机构统一授权有条件的单位承担这种专用计量器具的校验工作，并且只承认被授权单位对该种专用计量器具的校验证书，对其他自校证书则不予承认。

五、对计量器具检定的法规要求

计量器具的检定必须按照国家计量检定系统表进行。计量检定必须执行计量检定规程。这是《中华人民共和国计量法》所规定的。

（一）计量检定系统表

计量检定系统表（亦称计量检定系统）是国家法定技术文件，它规定了国家基准、各级标准、直至工作计量器具的检定程序，其内容包括对基准、标准、工作计量器具的名称、测量范围、准确度和检定方法等的规定。一般来说，建立一种基准器，就有一个相应的计量检定系统。图13-1所示的是质量（重量）的计量检定系统表。

计量检定系统的制定必须保证测量结果的溯源性——通过连续的比较链将结果与相应的计量基准器(通常为国际基准器或国家基准器)的量值联系起来。由于工作和量值传递的需要，企业、事业单位也可以建立起本单位的量值传递系统表，其最高计量标准不必一直绘制到国家或国际基准器而只需绘制到本单位以外的上一级计量标准即可。它不具有法律效力。

（二）计量检定规程

计量检定规程是指为评定计量器具的计量性能，作为检定依据的法定技术文件，它分为国家、地方和部门三类，分别由国务院计量行政部门（在全国范围内施行）、省级人民政府计量行政部门（在本行政区域内施行）和国务院有关部门（在本部门内施行）制定。当正式发布国家计量检定规程后，相应地方和部门计量检定规程即应废止；因特殊原因需继续施行的其各项技术规定不得低于国家计量检定规程，不得与国家计量检定规程相抵触。制定检定规程的内容及要求包括：引言、概述、技术要求、检定条件、检定项目、检定方法、检定结果处理、检定周期及附录等。

技术要求中一般应着重于受检计量器具的计量特性、使用安全可靠性等有关内容。如测量范围、准确度、灵敏度、稳定度及相应的动态特性等；物理或机械性能方面的密度、硬度、温度、耐溶性、耐蚀性、抗干扰能力等；安全可靠性方面的绝缘强度、密封性能、封印要求、其他安全防护设施等；外观质量如表面粗糙度、刻度清晰度、以及对划痕、碰伤、毛刺、裂纹、气泡等方面的要求。

检定条件包括环境条件和设备条件。应考虑温度、振动、电源电压、电磁场干扰等环境条件的要求，以及计量标准、主动辅助设施等设备条件。

检定项目是指受检计量器具的受检部位和内容。检定项目应与主要技术要求基本对应，确定受检项目要从实际需要出发，明确合理，切实可行。其中，有些计量器具可根据具体情况，对使用中和修理后的检定项目允许与新制造的检定项目有所区别。

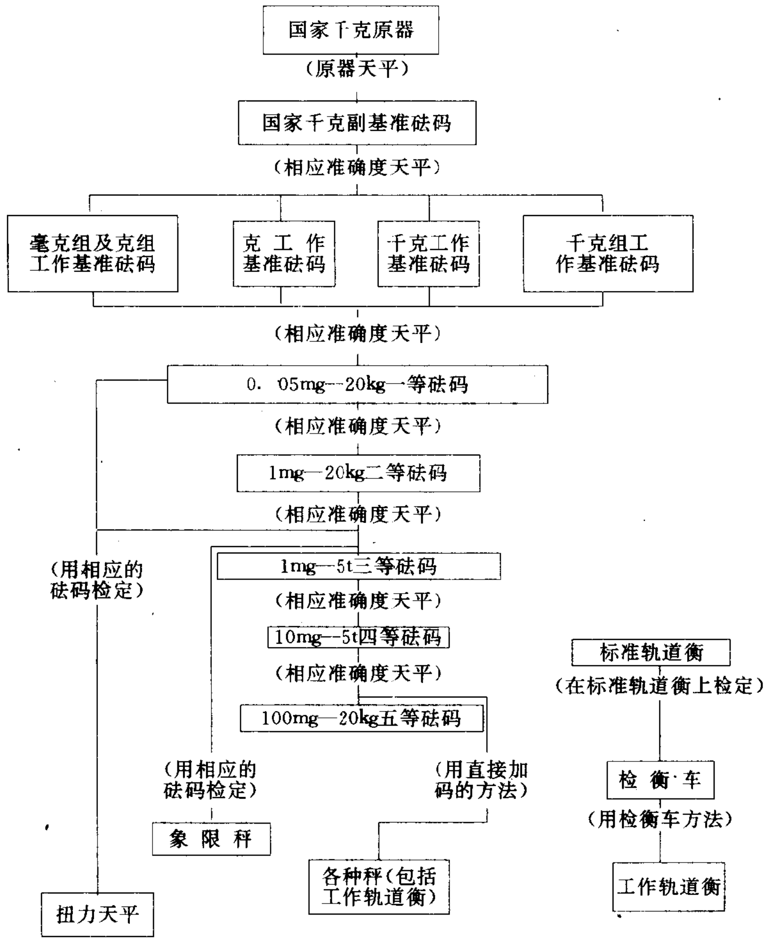


图13-1　质量（重量）计量检定系统表

检定方法也就是对计量器具受检项目进行检定时所规定的具体方法和步骤，包括必要的示意图、方框图、接线图及计算公式。方法的确定要有理论根据，并切实可行、具体明确，所有的公式、常数、系数必须有可靠的根据。

在采用检定规程中有关规定的检定形式检定结束后，要对受检计量器具的合格或不合格作出明确的结论。合格的发给检定证书、检定合格证或加盖检定合格印；检定不合格的则要发给检定结果通知书，或注销原检定合格证、印。

由于计量器具在使用过程中其性能会发生一定的变化，每隔一段时间必须重新检定。检定周期的长短应根据受检计量器具的计量特性、使用环境条件和使用频繁程度等多方面的因素来确定，因而检定规程中一般只规定最长检定周期。

计量器具的发展极为迅速，一些计量器具并没有相应的计量检定规程可以参照，但必须对这些计量器具进行周期性的校准。此时，使用这些计量器具的单位可以自行制定校验方法以作为校准时的技术依据。这些方法在本单位有一定的权威性，当其上升为地方、部门或国家计量检定规程后，就可成为技术法规性文件。

（三）在用计量器具法制管理要求

根据计量法规要求，对计量器具采取了不同的法制管理要求，见表13-3

表13-3 在用计量器具法制管理要求

计量分类 / 法制要求	强制检定计量器具		非强制检定计量器具				标准物质（属计量标准）	试验设备（不属计量器具）
	最高计量标准	强制检定工作计量器具	次级标准	非强制检定计量器具				
				通用	专用	辅助		
建立和购置条件	1. 办理《计量标准考核合格证书》，由与主管部门同级的政府计量部门考核发证 2. 办理计量检定员证，由主管部门发证	1. 应购有《制造计量器具许可证》的产品 2. 报县级政府计量部门备案	1. 办理计量标准考核证书，由主管部门考核发证 2. 办理计量检定员证，由主管部门发证	应购置有《制造计量器具许可证》的产品	自行组织验收	与主机配套考核	应购置有《制造计量器具许可证》的产品	自行组织验收
日常管理	1. 实行定点定期检定 2. 由主持建标的政府计量部门指定的机构检定 3. 执行计量检定规程 4. 合格后发给计量合格印和合格证	1. 实行定点定期检定 2. 由县级政府计量部门指定检定机构 3. 执行计量检定规程 4. 合格后发给计量检定合格印、证	1. 自行检定 2. 用本单位最高计量标准对其检定 3. 执行计量检定规程 4. 合格后发给计量检定合格印、证	1. 自行检定或送其他计量检定机构检定 2. 执行计量检定规程，没有规程的，制定校验方法 3. 合格后发给检定合格证或检验证书 4. 县级以上政府计量部门进行监督	1. 自行检定或送主管部门指定的机构检定 2. 执行部门检定规程或自行制定校验方法 3. 合格后发给检定合格证或校验证书		在有效期内使用	1. 自行检定 2. 自定检验方法

第三节 标准物质

标准物质　是指在规定条件下，具有高稳定的物理、化学或计量学特性，并经正式批准作为标准用于校准测量器具、评价测量方法或确定材料特性量值的物质或材料。它应该具有以下特点：

（1）本身是一种物质或材料，而不是一种器具或装置。

（2）其目的是为统一量值作为计量标准使用，用于校准仪器、评价测量方法或确定材料特性的量值。它是计量标准的一种形式，要通过检定并正式批准，具有准确的检定数据和证书，具有一定的法律地位。

（3）本身具有一定条件。必须在规定条件下具有高稳定的物理、化学或计量学特性。如具有确定的化学成分或物理特性，性能参数高度稳定，成分性质高度均匀，或在规定的制取和测量方法下具有可达到的最高准确度。

在检验工作中，凡需使用标准物质的，都必须使用国家颁发了许可证的标准物质。需要使用国内不能生产的进口标准物质时，必须满足以下条件：

①在合格期内，有合格证书；

②经过分析测试，证明性能符合要求；

③使用新的批号时，必须进行比对测试；

④分析测试的数据，必须归档保存，以便进行检查。

实验室常用的标准物质见表3-7。

主要参考文献

1. 赵若江，单叙生，李亦农编著. 测试实验室计量认证及规范化管理. 北京：中国计量出版社，1992年.

第十四章　实验室的规范化管理

第一节　实验室组织系统

实验室组织系统主要包括三个方面：有功能健全、能满足所开展的检测工作要求的组织机构；有质量保证体系；有保证检测工作公正性的措施。

（一）组织机构

实验室组织机构通常如图14-1所示，每个机构都应有一套工作人员（可兼任）各司其职。各小组都需注明人员的人数、职称等情况，以期形成一个完整的实验室组织机构。

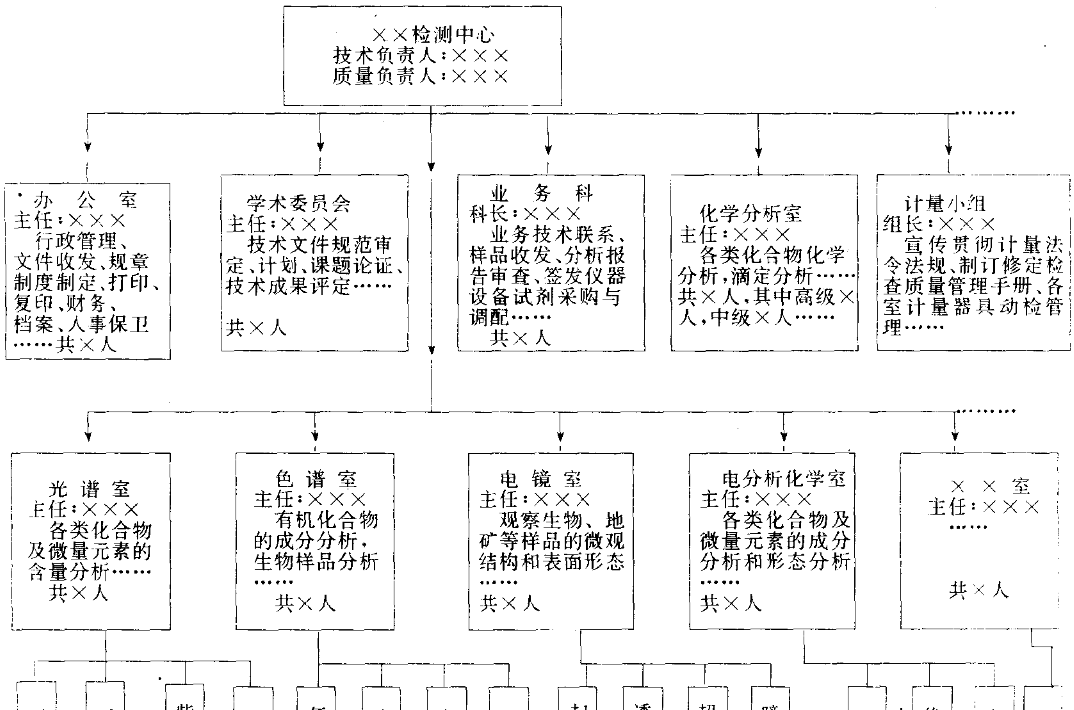


图14-1　实验室组织机构框图示例

（二）质量保证体系

质量保证体系是分析检测工作的一个关键环节，包括：检测机构的各科室都应有人负责检测的质量监督工作、有与此相关的一整套完善的规章制度和措施等。可以有图14-2所示的质量保证体系框图。

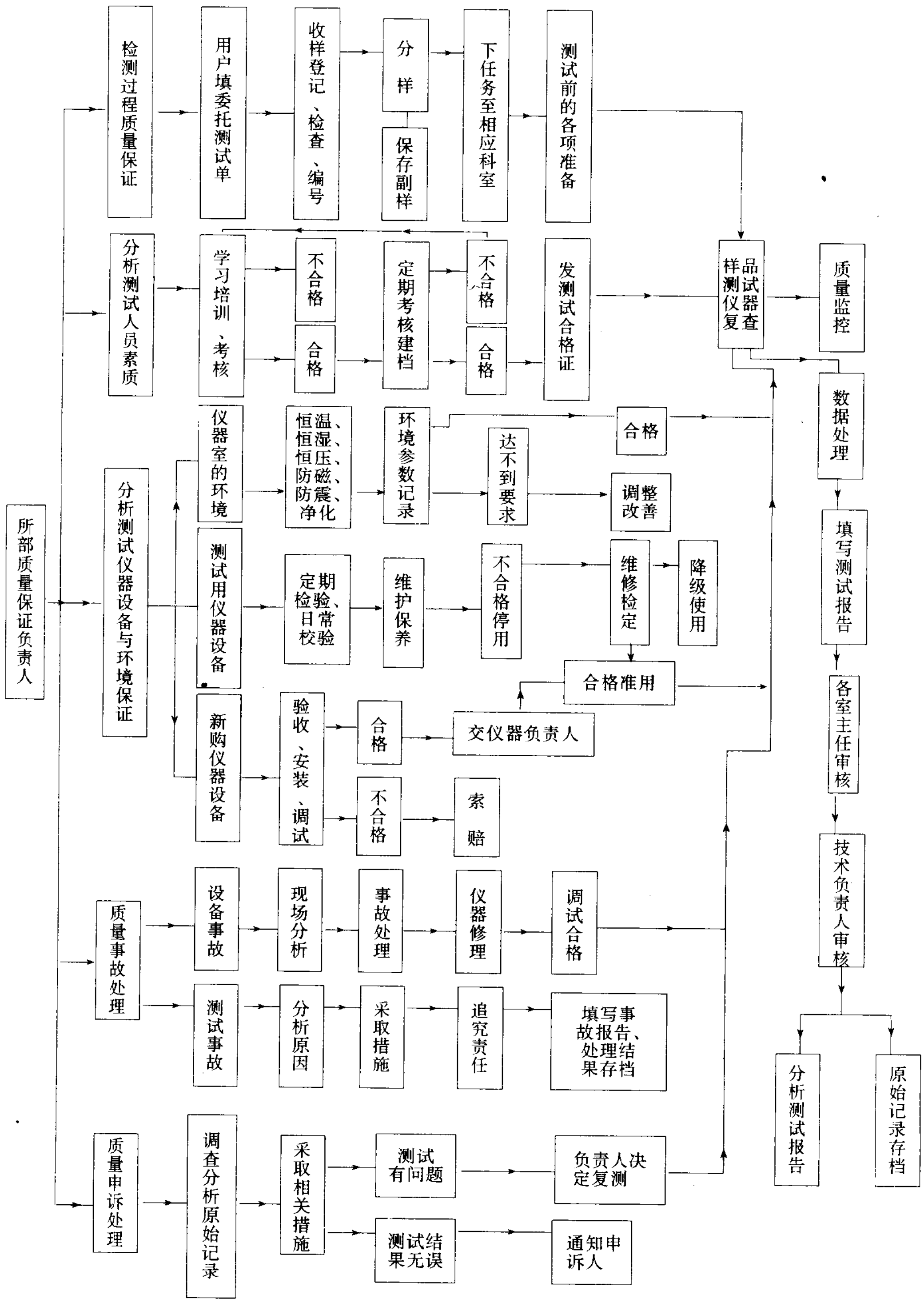


图14-2　实验室质量保证体系框图

（三）公正性保证

公正性是保证质检机构工作质量的关键因素，要求：①对所有用户的检测服务都能保证同样的服务水平；②为用户保密，无关人员不得随意接触用户提供的资料、检品和检测数据；③不得将用户提供的技术资料及技术成果用于开发工作，检测人员不得从事与检测业务有关的开发工作；④检测工作不受行政干预，不受经济利益和其他利益的影响。

第二节　实验室各岗位责任制度

工作制度健全及坚持贯彻执行体现了一个单位的管理水平，对检测单位则直接关系到检测工作的质量。因而，各实验室必须建立健全的各岗位的责任制度。各岗位责任制包括各部门的岗位职责和各类人员的岗位职责，需视各单位具体情况选择制定。

（一）各负责人及各类人员的岗位责任

1.中心主要负责人的岗位责任　负责全面领导工作，制定发展计划、审定年度及专项计划并组织实验；负责重大问题的决策审查，及对人、财、物的统一调度；主持制订、贯彻实施各项规章制度并督促检查其执行情况，切实保证能公正、科学、准确地进行各类检验工作；负责与各有关方面的协调，及时解决出现的实际问题；决定内部机构设置、中层干部聘任等。

2.技术负责人的岗位责任　负责各项技术业务工作的组织领导和实施，负责科研和测试工作的质量；负责技术管理并对实验过程中的安全负技术责任；掌握对测试工作的要求并根据具体情况提出方案；负责检查测试工作情况，解决好测试工作中的技术问题；组织贯彻执行测试工作技术管理制度及规范、规程，纠正违反工作程序和操作规程的实验以保证工作质量；领导重要课题及专题研究报告的评定工作；会同有关部门组织技术培训和考核，帮助技术人员提高技术水平；审查并批准测试工作计划、实施细则、操作规程；审查和签发测试报告，行使质量否决权。

3.质量保证负责人的岗位责任　负责计量检定和实验测试的质量工作，协同技术负责人完成质检任务，解决检验工作中出现的重大技术质量问题；负责检查实验仪器的工作状态、样品测试方法的准确情况及国家标准、实施细则等的执行情况；负责对测试数据进行审查以保证测试数据准确可靠；主持对测试人员的技术培训、考核工作，对测试人员的晋升、奖惩提出建议；负责审批和修改测试实施细则、操作规程、规范并检查其贯彻执行情况；负责处理测试纠纷和送检单位的申诉；负责对原始记录、测试报告等技术资料进行检查以确保测试结果准确、可靠、完整、公正；定期组织召开由技术负责人参加的测试质量评价会。

4.各专业室主任的岗位责任　根据本室的检测任务确定质量目标，全面负责本室检测质量；掌握本专业国内外的现状和发展趋势，提出新的检测方案，制定本室检测细则，熟悉样品的检验标准；熟悉检验质量控制理论，解决本室检测工作中的疑难问题；具体安排本室的科研与测试工作，组织专业技术人员完成各项检测任务，定期对工作情况和质量进行评定；提出仪器的购置、更新、改造计划和仪器设备的大修、降级使用及报废计划；审定原始记录及各类检查报告，对各类事故提出处理意见；负责本专业技术人员的培训和考核，指导本室技术人员的业务工作并督促其按有关规程进行各项检测工作。

5.测试人员的岗位责任　具有上岗合格证，熟悉本职业务，了解所用仪器设备的性能；严格执行质量管理手册，坚决按检定规程、国家标准、实施细则等开展测试工作；严格按操作规程正确使用和维护仪器，对所负责的仪器设备做到按要求定期保养，使用后及时填写使用

情况记录；认真填写原始记录，做好技术数据归档前的整理工作。以保证原始数据准确、可靠、完整、清晰；协助技术负责人拟制和审定有关技术文件，做好安全保密工作；积极认真完成各项实验任务。

6.计量检定人员的岗位责任　正确使用计量标准器具、标准物质，并对它们按规定进行计量检定以保证其具备良好的技术状态；执行计量技术法规及计量器具检定规程；确保检定数据、结论正确、各类数据齐全；检查各测试室在用检测仪器的周期计量制度的执行情况，制止使用不合格仪器和超检定周期的检测仪器，并将有关情况及时向上级报告。

7.业务接待员的岗位责任　熟悉本职业务，热忱接待用户；认真检查所收样品，并填写测试任务书或检样卡，办理样品测试的有关手续；收到样品后尽快发放给有关测试人员，分析测试完毕后及时通知送检单位领取测试报告，并做好测试结果的保密工作；严格按各业务收费标准收费；送检单位对测试报告结果提出异议时，及时上报领导，协助有关部门处理；根据工作要求，做好留样的保管工作。

8.资料档案保管人的岗位责任　负责各种仪器设备的资料及科技档案的保管；收集和管理有关实验技术资料和分析测试的标准、规程，并注意保管各类仪器设备的操作说明书和自检规程等资料；对各类资料均需建卡、建账，统一编号，并制定借阅，调用制度；负责各种对外分析测试项目的原始记录和测试报告存根的收集、整理、归档工作；严格遵守保密制度，对外分析测试、实验的资料，未经负责人同意不得向他人提供，并不得随意复制、散发检验报告，不得泄漏原始数据；对有关资料档案要收放整齐，做到方便使用；过期资料的销毁应严格履行报批手续，并造册登记入档。

（二）各科、室的岗位责任

1.业务科职责　全面负责质量管理，领导计量管理工作；接待并安排分析测试任务，制订科研计划，组织申报课题，组织课题及新产品的鉴定工作；负责分析测试报告签发；负责样品的收发、保管和检后处理；负责仪器设备的订购、调配和登记以及科研、测试所需试剂、器材等物品的采购、验收、保管和发放；负责统计上报各类业务报表；完成领导布置的其他工作。

2.办公室职责　负责财务管理，编制财务计划，填写行政、后勤、财务等有关报表；负责档案的收集、整理和管理工作；负责文件的打印、收发、传阅和催办；负责日常行政工作、安全保卫工作；负责办公用品、水电、车辆等的使用管理和日常维修；完成领导布置的其他工作。

3.实验室职责　严格按国家各极标准或说明书进行测试，按时完成业务科下达的测试任务，保证测试结果准确无误；出具测试报告；负责仪器设备的选型、调试、使用、保养；负责编制、申报本室所需器材、低值易耗品的计划，合理使用，妥善保管；研究开发新的测试方法，开发测试仪器的新功能；负责本室业务技术成果的初审工作，积极开展技术交流活动；完成下达的其他任务。

（三）各层次人员的技术职责

1.高级职称人员的职责　主持或指导制订重大技术工作计划及实施方案，并对计划和方案进行审核；负责拟定、审核重要的技术文件，解决测试过程中的复杂、重要和难度大的技术问题，负责对质量监督检验的综合判定；开展新的测试方法研究和测试设备的研制工作；指导中、初级技术人员的工作，并根据有关部门的安排，对中、初级技术人员进行必要的技术培训和技术考核；参加或负责技术成果的评议工作；对分管范围内的贵重仪器的购置、使用

和处理负技术、经济责任。

2. 中级职称人员的职责　制定分管测试工作的计划及实施方案，解决本专业较复杂的业务、技术问题；担任样品测试（或项目研究）的负责人，参加或具体负责技术成果的技术评议工作；编制和审核测试报告，必要时接受室主任委托审定测试报告；指导初级技术人员从事测试工作，并参加有关部门组织的对下一级测试人员进行的技术考核；对分管范围内的一般测试仪器的购置、使用和处理负技术、经济责任。

3. 初级人员（助理工程师）的职责　负责解决本专业一般性技术问题，担任测试专业组（或项目研究）负责人，及时反映分管工作情况，提出开展工作的建议；指导技术员从事测试工作；出具测试数据，并对数据正确性负责，参与编制和校对测试报告；做好分管范围内测试仪器的使用、维护和保管工作。

4. 初级人员（技术员）的职责　掌握本专业基础知识和操作技能，分担辅助性业务技术工作；出具原始检验数据，进行数据处理、编制检验报告，并对其准确性负责；做好所使用的检验仪器的维护、保管工作。

第三节　实验室计量检测仪器、设备的质量监控

（一）仪器设备的管理

中心所有的仪器、设备均实行统一管理调度，指定专人负责。使用仪器、设备必须认真填写使用记录本，发现问题及时向仪器、设备负责人反映。各仪器、设备负责人要认真维护好设备，严禁违反操作规程或无操作证的人员使用。分析测试用的仪器必须检定合格，并在检定周期内，经认证确定使用。

（二）仪器设备的检定

所有仪器设备必须按国家检定规程在一定周期内进行计量检定（参见本手册第十三章第二节）。计量检定工作由业务科、各测试室有关专业人员负责，对所有被检仪器设备的检定应具备符合要求的环境条件。每次检定必须有完整的原始记录，并按规定进行审核，原始记录和检定证书一起存档。凡经计量检定的仪器设备均由仪表室按检定结果贴上合格（绿）、准用（黄）或停用（红）3种标志。

（三）仪器设备的使用、维修和保养

测试仪器、设备的维修由仪表室专人负责管理，各测试室根据仪器、设备的技术状态和使用时间填写维修清单，由仪表室在规定的时间内进行维修。在计量检定中发现仪器、设备损坏或性能下降时，由仪表室进行维修，维修情况填入仪器、设备档案。维修后的仪器、设备都应重新计量检定（不管其是否在原计量周期之内），且计量工作原则上不应由原修理人员担任。

（四）检测仪器量值的溯源

检测仪器量值的溯源通常需按图14-3所示程序进行。不同单位可根据各自单位的特点作适当更改，但必须经上级计量主管部门批准后方可实施。

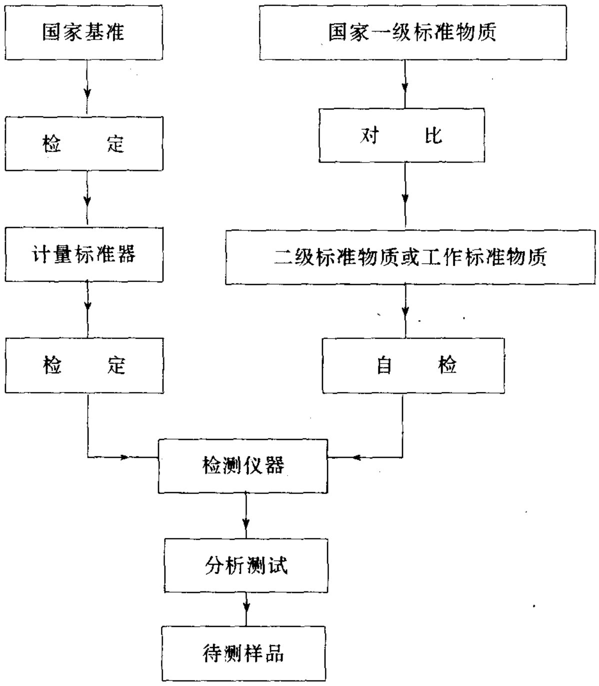


图 14-3　检测仪器量值的溯源程序示意图

第四节　实验室分析人员的素质

实验室各类人员应该具有与其职位（岗位）相适应的基本素质。所有人员必须坚持原则，忠于职守，遵守各项规章制度，作风正派，秉公办事，严格按产品技术标准、测试大纲进行各项测试工作。

（一）技术负责人、质量负责人、质量检验管理人员的素质

作为负责人应熟悉国家、部门、地方关于产品质量检验方面的政策、法、令、法规、规定；熟悉产品技术标准、相关标准、参考标准；熟悉抽样理论，能熟练地应用各类抽样标准，确定样本大小；熟悉1—2项测试技术，具备编制审定检测实施细则、审查检验报告的能力；熟悉掌握检验质量控制理论，具有对检测工作进行质量诊断的能力；熟悉国内外同类产品的检测方法、检测技术的现状及发展趋势，掌握国内外检测仪器、设备的信息；不断学习新知识，不断进行知识更新；熟练掌握一门外语。

（二）计量检定人员的素质

凡从事计量检定工作的人员必须具备高中以上文化程度，具备从事计量检定工作所必备的知识和技能，并经上级计量行政部门考核且取得《检定员证》；应不断学习新知识，随时了解国内外本领域计量技术的现状及检测仪器的信息；计量检定复核人员应真正起到复核的作用，复核人员必须是从事该项目2年以上的工程师或从事该项目5年以上的检定人员；见习人员、学徒工代培人员不得独立从事检测工作，不得在检定证书上签字。

（三）检测人员的素质

检测人员必须经考核合格并取得《检验员证》；必须熟悉该检验仪器的性能，具备使用该仪器的知识，经过考核合格并取得《操作证书》才能操作使用大型、精密、贵重检测仪器设

备；应掌握所从事检验项目的有关产品标准，了解本领域国内外测试技术、检测仪器的现状和发展方向，具备制定检测大纲、采用国内外最新技术进行检测工作的能力；应具备独立进行数据处理的工作能力；应对检验工作持严肃的态度，以数据说话，不受来自行政的或其他各方面的影响与干扰。

第五节　实验室检测工作质量监控

检测工作是一个质检机构整个工作中的关键环节，并将直接影响到质检机构的工作质量。为了确保质检机构提供的数据准确可靠，也就是在相同的条件下能够重复，要求在检测的全过程中，对影响检测结果的每一个因素——被检对象、所用仪器设备及工作环境条件等都必须有检查、有核对、有记录，且必须校对检测所得到的所有数据。

因此，检测机构必须具有与其检测业务范围相关的有关标准、规程、规范等技术文件，并据此制定详细的实施细则。

检验过程主要环节及检验报告审批、送发的一般过程如图14-4所示。

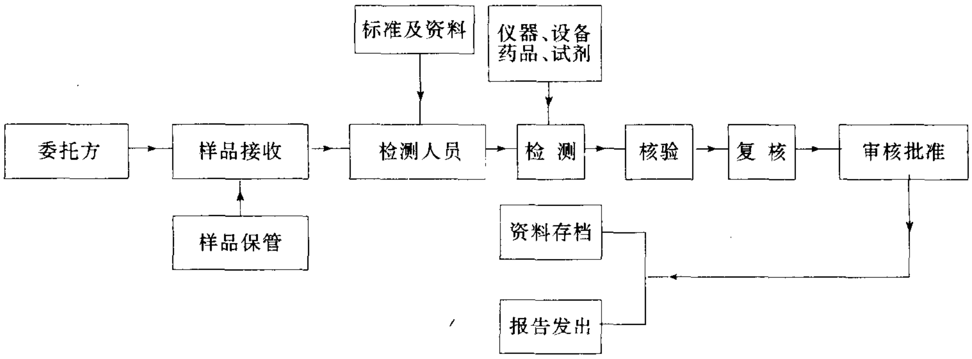


图 14-4　检验过程和检验报告审发过程

（一）检验质量目标

分析检验工作在任何时候都必须坚持质量第一的原则。其首次检验无差错率应达到95%，经复核后，检验无差错率应达到98%，审批后发出的检验报告，其无差错率应达到99%。

（二）抽样

凡需对整体产品进行质量判断的检验项目均应进行抽样检验。对送样产品，检验结果仅对来样负责，不对整体产品质量作任何评价。抽样时一般采用随机抽样，确定样本大小后，由产品存放单位提供产品编号进行随机抽取，原则上抽样人不得与样品直接见面。

样本应在生产单位、销售单位或使用单位的已检验合格的库存产品中抽取。在特殊情况下，也允许在生产线的终端、在已经检验的合格品中抽取（应特别注意的是，出厂检验是生产线的终端，因此，在生产线终端抽样，也即产品已生产完毕、并已通过出厂检验点）。

抽样前不得事先通知被检产品生产单位。抽样结束后，样品应立即封存，连同出厂检验合格证一并发往指定地点。

样本大小的确定：凡产品技术标准中已规定样本大小的，按标准的规定执行。凡产品技术标准中未规定样本大小的，按下列方法确定：

①连续批、验收型检验，按 GB2828—81执行；②连续批、调整型检验，按 GB2829—81执行；③质量指标为产品不合格率的计量检验，按 GB6378—86执行；④破坏性检验的样本大小由委托单位自定；⑤其余按百分比抽样：

$N \leqslant 100$　　　　$n=2$

$100<N \leqslant 1000$　　　　$n=N/100$　（$n \nless 2$）

$N>1000$　　　　$n=N/100$　（$n \ngtr 30$）

（N：批量；n：样本大小）

抽样时还必须注意：①在生产单位的库存中抽样时，抽样基数不得小于样本的5倍；②在生产线的终端抽样时，当天产量不得少于均衡生产的平均日产量；③在用户和销售单位抽样时，抽样基数不得小于样本的2倍。

样本确定后，抽样人以适当的方式封存，由样本所在单位以适当的方式运往检验部门。运输方式应不损坏样本的外观及性能。样品箱、样品桶、样品的包装也应满足上述要求。

抽样结束后，由抽样人填写样品登记表，其内容应该有：产品生产单位；产品名称、型号、图号；样品中单件产品编号及封样器编号；抽样依据；样本大小；抽样基数；抽样地点；运输方式；抽样日期；抽样人姓名、封样人姓名。

（三）检测前的检查

（1）检验人员需对样品进行检查，确认其外观质量及工作状态并记录在案。

（2）检验人员应检查实验室的环境条件（温度、湿度、照度、震动、电源等）并记录在案。

（3）检验人员需检查检测仪器、设备的性能是否正常，是否有计量合格证或准用证，并记录在案。

（4）检验人员应对测试仪器、设备的安装方式、安装位置、连接方式等进行检查，并记录在案。

（5）在进行不可重复的试验前，应有被检产品生产单位的代表对检测方法、检测仪器、检测条件进行检查，确认无误并签字认可后方能开始试验。此类检验不接受复测申诉。

（四）检测实施细则

（1）检测实施细则一般包括下列内容：

①产品技术标准；

②抽样方法及其样本大小；

③检测项目、被测参数大小及允许变化范围；

④检测仪器、设备的名称、型号、量程、准确度、分辨率；

⑤检测系统框图；

⑥计量检测前后，对被测样品、计量检测仪器的检查项目；

⑦对测量用仪器及设备的安装要求；

⑧对电源、供气、供水压力及环境条件（温度、湿度、振动）等的检查及从保证计量检测结果可靠角度出发允许的变化范围的规定；

⑨在计量检测过程中发生异常现象——如1）被测件损坏或被测件工作异常，2）首次测量超差，3）计量测试结果散布太大——时的处理办法；

⑩在计量检测过程中发生事故——如1）停电、停水、停气或发生其他非人力可避免的自然灾害，2）计量检测仪器、设备发生意外损坏——时的处理办法；

⑪检测结果判断方法。

（2）为保证检测系统测量的准确度，可用如下公式计算：

①由一台检测仪器或设备组成的简单检测系统

$$\delta=\sqrt{\delta_A^2+\delta_B^2+\delta_C^2}$$

式中 δ——测量准确度；

δ_A——仪器设备检定误差；

δ_B——人工误差；

δ_C——安装及环境误差。

②由多台检测仪器或设备组成的复杂检测系统，先对每一台检测仪器或设备分别检定，得出其检定误差，在此基础上按下列计算：

$$\delta=\sqrt{\Sigma\delta_{Ai}^2+\delta_B^2+\delta_C^2}$$

式中 δ——系统测量准确度；

δ_{Ai}——每台检测仪器、设备的检定误差；

δ_B——人工误差；

δ_C——安装及环境误差。

③某些专用检测设备则应通过试验确定其检测数据的重复性。

(3) 为保证检测结果的可靠性，还要注意检测仪器的量程、分辨率和测量不确定度符合下列要求（产品技术标准或测量方法标准中明确指定测量仪器、设备的除外）：

$$1/5\ S < A < 2/3\ S$$

$$i < 1/10\ T$$

$$U < (1/3-1/10)\ T$$

式中 A——被测参数大小；

S——测量仪器量程；

i——测量仪器分辨率；

T——被测参数允许变化范围；

U——测量仪器的测量不确定度。

（五）检测工作的质量控制

为了保证检测工作的质量，必须注意以下几个方面：

(1) 检测工作应严格按产品技术规定的检测方法或检测实施细则进行。

(2) 检验人员应经严格考核，每项检验工作的人员一般不少于2人，要防止检测数据在传递过程中发生差错。

(3) 在检测过程中出现边缘数据时应重复测量3次。

(4) 在检测过程中出现首次测量超差、首次测量被测件损坏或重复检测数据散布太大这种情况之一时应停止检测工作，在对被测件、检测仪器、设备的工作状态及安装状态、检测境条件进行详细检查并经实验室主任确认后方可再开始检测，同时应对发生的问题进行记备查。

(5) 因外界干扰（停电、停水、停气等）而中断试验后，凡影响检验质量者必须重新开始检验工作，并将情况记录备查；凡检验质量受外界干扰（停电、停水、停气等）影响后无法重新开始的检验项目则要事先采用应急措施，以保证检验质量不受影响。

(6) 因检验仪器、设备故障或损坏而中断试验者，可用相同等级的、满足测试工作要求的代用仪器重新进行检验；无代用仪器、设备者必须将损坏的仪器设备修复并重新检定或校验合格后，方可开始检验。

(7) 凡因检测工作的失误或产品本身的原因造成在检测过程中样品损坏，无法得出完整的检测数据者，所有检验数据作废；重新抽样进行的检验必须完成全部项目，检验报告以第二次检验数据为准，不允许将两次检验的数据拼凑检验报告。

(8) 检测过程中如发生检测设备损坏、被测件毁坏、人身伤亡等重大事故时，应保护现场并向技术负责人报告，待妥善处理后再进行检验。

(9) 检测工作结束后，全部检测数据应进行复核，确认无误才允许对被测件作检后处理。

(10) 检验工作结束后，应有专人对测试仪器设备的技术状态、被测件的状态、环境条件进行检查并记录在案备查。

（六）常规分析的质量管理与控制图

人员、分析方法、仪器设备、原材料和环境是影响分析质量的主要因素，在正常情况下，只要对这五个方面有良好的管理和控制，就能使分析质量在事先获得一定的保证。可以采用质量控制图法来进行实验室内部的质量控制管理。

控制图假定分析数据大致符合正态分布，$N(\mu,\sigma^2)$ 在 $\pm 3\sigma$ 误差限内的覆盖域为99.73%，即超出一侧的数据出现的概率≈0.1%，在正常情况下不应该也不可能出现。以测量值为纵坐标，以日期或测量顺序为横坐标作图即为单值控制图，也叫 X 控制图，相当于将正常的正态分布图按顺时针方向转90°后再上下翻转180°所得到的图形。

控制图的制作以经验为基础。对一个管理样，至少要独立分析20次以上，计算其标准偏差，然后绘制控制图。所有这些结果不应在同一天内测定，最好在一段时间里，穿插在日常分析工作中，用常规方法分析，将结果积累而得。该系列测定值的平均值为 $\bar{x}$，标准偏差为 s。以 $\bar{x}$ 作中心线（CL），上下控制限（UCL 和 LCL）分别设在平均值的上下两边($\bar{x}+3s$)和($\bar{x}-3s$)处，而上下警告限则分别在($\bar{x}+2s$)和($\bar{x}-2s$)处，以虚线表示之。图14-5示例为某管理水样中铜含量测定的质量控制图。

在日常分析未知样时附带分析这份管理样，并将管理样"打点"到这张控制图上。如果"打点"未出界，表示分析的各种条件正常，影响分析结果的只有偶然性因素而没有系统因素，反映分析过程处于稳定状态或控制状态。因此，同时进行的未知样的分析结果也是可靠的。如果"打点出界"就可判断那一天的分析条件有异常（正常情况下打点出界的可能性为1‰左右），除了偶然因素以外还可能有系统误差存在。这提示我们该找出系统原因并将其消除，从而使分析过程逐步趋近并最后达到控制状态

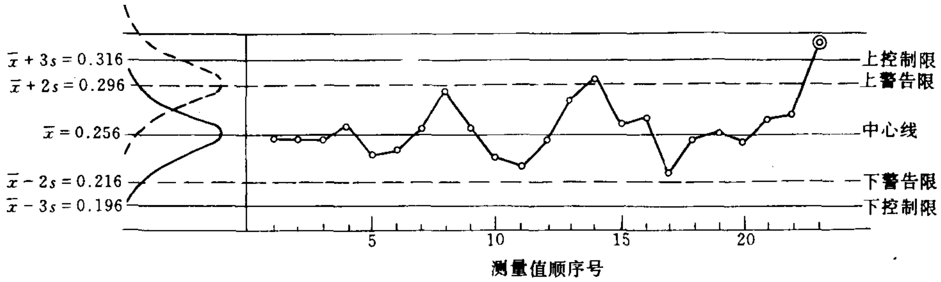


图14-5 某管理水样中铜含量测定的质量控制图

$\bar{x}=0.256\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$；$s=0.020\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

判断分析过程是否处于控制状态的一些规则如下：

(1) 在点基本上随机排列时，符合以下情况的均属正常：①连续25点全部在界限之内；②连续35点中在界外的不超过1点；③连续100点中在界外的点不超过2点。

（2）在中心线一侧连续出现的点叫“连”，其点数叫“连长”。当“连长”不小于7时，则认为有异常。

（3）点逐渐上升或下降的状态成为“倾向”。当有连续不少于7点的上升或下降的“倾向”时，则判断有异常。

（4）中心线一侧点连续出现而属以下情况的，则判断有异常：①连续11点中至少有10点；②连续14点中至少有12点；③连续17点中至少有14点；④连续20点中至少有16点。

（5）点屡屡超出警告限而接近控制限属下列情况的，均为有异常：①连续3点中至少有2点；②连续7点中至少有3点；③连续10点中至少有4点。

（6）所有点都集中在中心线附近（偏离极小），同样判断有异常。

在控制状态下测得的管理样分析数据积累更多后，可以将这些数据和原始数据一起重新计算平均值和标准偏差，再校正原来的控制图。

其他几种控制图：

（1）多样控制图（ξ 控制图）当检验人员对单一管理水样的测定值已经熟知时，就可能产生主观误差，如果在一段浓度范围内设置几个管理样，只要这些管理样的标准差基本一致，是一常数，就可将控制图稍作修改，以0为中心线，以误差 ξ 作纵坐标，仍以时间或实验次序为横坐标，以 $\pm 3s$ 为上、下控制限，以 $\pm 2s$ 为上、下警告限，以每次分析结果的误差值 $\xi = x - \mu_i$ 在图上打点，即得多样控制图（μ_i 代表第 i 个管理样的标准值）。再采用密码分发这些管理样，就可避免主观误差。

（2）平均值-极差控制图（$\bar{x}$-R 控制图）$\bar{x}$-R 控制图实验上是两种图合并而成，对于计量数据而言，这是最常用、最基本的控制图。$\bar{x}$ 控制图主要用于观察分布的平均值的变化，R 控制图主要用于观察分布的分散情况的变化。$\bar{x}$-R 控制图则将两者联合运用，可用来观察分布的总变化。

绘制 $\bar{x}$-R 控制图时，至少要将管理样积累20对（每对做两次重复测定）测定数据，然后计算每对数据的平均值（$\bar{x}_i$）和极差（R_i），再计算总平均值（$\overline{X}$）和平均极差（$\overline{R}$）：

$$\bar{x} = 1/n \sum \bar{x}_i$$

$$\overline{R} = 1/n \sum \overline{R}_i$$

利用表14-1所列控制图的各因子计算上、下控制限（90%置信度）。

$\overline{X}$ 控制图：上控制图 $= \overline{X} + A_2\overline{R}$

下控制限 $= \overline{X} - A_2\overline{R}$

上警告限 $= \overline{X} + 2/3A_2\overline{R}$

下警告限 $= \overline{X} - 2/3A_2\overline{R}$

$\overline{R}$ 的控制限：上控制限 $= D_4\overline{R}$

下控制限 $= D_3\overline{R}$

上警告限 $= \overline{R} + 2/3(D_4\overline{R} - \overline{R})$

$= \overline{R}[(2D_4+1)/3] = H\,\overline{R}$

下警告限 $= \overline{R} - 2/3\ (D_4\overline{R} - \overline{R})$

A_2、D_3、D_4、H 为分别取决于重复测定次数的常数（见表14-1）。

表14-1　计算控制图各条线的诸因子

每批样本容量 (n)（重复测定次数）	A_2	D_3	D_4	H
2	1.88	0	3.27	2.51
3	1.02	0	2.58	2.05
4	0.73	0	2.28	1.85
5	0.58	0	2.12	1.74
6	0.48	0	2.00	1.67
7	0.42	0.076	1.92	1.61
8	0.37	0.136	1.86	1.57

当 $\bar{x}$-R 控制图绘制以后，将逐日结果标于图上，管理样与欲测的未知样同时分析，计算重复测定管理样两次的结果的平均值和极差，点于 $\bar{x}-R$ 控制图上。如果 $\bar{x}$ 和 R 都处于控制状态，表明当天分析条件正常，未知样的结果可靠。如果 $\bar{x}$ 和 R 两者之一超过控制限，就需采取校正措施。

第六节　分析数据记录和检测报告的规范要求

（一）原始记录

原始记录是检测结果的如实记载，不允许随意更改，不许删减，一般不允许外单位查阅。记录原始数据的表格有国家相对统一的格式，不能用铅笔填写，内容须填写完整并有检测人员和校核人员的签名。校核者必须认真核对检测数据，凡是可以重复检测的项目，校该量不得少于5%。

原始记录如需更改，应在作废数据下划条形水平线，将正确数据填在上方，并加盖更改人印章。

原始记录在检查报告发出的同时归档，有专门资料室的则送资料室保存。保存期不少于5年。

（二）数据整理

检测数据的有效位数应与检测系统的准确度相适应，不足部分以“0”补齐，以使测试数据的有效位数相等。同一参数检测数据个数3～10间用算术平均值法，大于10时用均方根法处理。

检测数据异常值按以下规则进行判断：①检验每一单元内的检测结果中的异常值用Grabbs 法；②检验结果方差中的异常值用 Cochran 法；③检验各实验室平均值中的异常值用 Dixon 法。当确定某一数据为异常值后，用图14-6所列程序确定该值是否可以剔除，整理后的数据应填入原始记录表中的相应位置上。

（三）检测报告

检测报告是检验机构检验质量优劣的集中反映，必须保证其内在的和外观的质量。检测报告应采用统一的格式，不准用铅笔填写，各检测数据均应采用法定计量单位。项目应填写完整，签名齐全，文字简洁，字迹清晰，数据准确，结论正确。检测报告不允许更改。

检测报告由各实验室主任审核，审核范围包括报告的外观质量和内在质量。在审核中发现错误应由原填写人重新填写，审核人不得自行更改。审核后的检测报告应交质量负责人签署意见，由技术负责人批准，并注明份数。

检测报告的发送登记及发送由办公室专人负责。检测报告的发送范围包括：

①属上级下达的检测任务，任务下达部门、产品生产单位、该单位的上级主管单位各一份，留档一份；

②委托检测项目仅向委托单位发一份，留档一份。严禁将检测报告发往同类产品生产单位。

当发出的检测报告发现错误时，应重新发一份报告代替，注明所代替的检测报告的编号，并将原检测报告收回。收回的检测报告应办理登记手续。

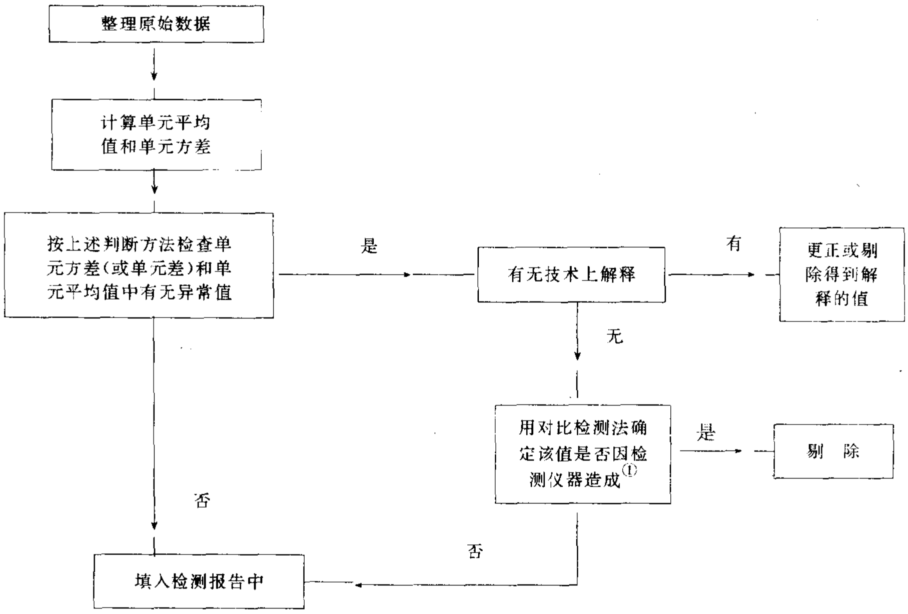


图14-6　异常值审定程序

①对比检测是用3台与原检测仪器准确度相同的仪器对原检测项目进行重复试验，若检测结果与原测试数据相符，则证明此异常值是由产品性能波动造成，若不相符，则证明此值是因仪器造成，可以剔除。

第七节　实验室日常工作制度

由于不同实验室的检验任务相差很大，不同实验室的组织形式也各不相同，其日常工作管理制度也就会有很大差别，但以下几个方面都是需要的。

（一）实验室管理制度

实验室是进行测试工作的场所，必须保持清洁、整齐、安静，在实验室内严禁随地吐痰，严禁抽烟、吃东西、喝水；禁止将与测试工作无关的物品带入实验室；任何人进入要换鞋更衣的实验室都应按规定更换工作服、鞋；实验室须健全卫生值日制度，每周（或每日）清扫一次；下班后或节假日必须切断电源、水源、气源，关好门窗，以保证安全；配备消防设施、灭火器并经常检查，任何人不得私自挪动或挪作他用，妥善保管仪器、设备的零部件，连接线、常用工具应排列整齐，不得横跨过道；外来人员参观必须事先联系，经批准后由有关人员接待。

（二）检验工作管理制度

具有常规检验任务的实验室需每月编制检验计划，临时任务可以临时按排；按照检验计划，由办公室填写任务通知单，连同样品领取单、样品交接单、样品技术资料交接单和样品

处理登记表各2份，交各检验室；各检验室将任务落实到各检验人员，检验人员持任务通知单、样品领取单、样品交接单、样品技术资料交接单和样品处理登记表去样品室领取样品及其他资料，并办理交接手续，其中样品交接单、样品技术资料交接单随检验工序流转；检验工作完成后，由检验人员在检验工作通知单的相应栏目填写相关内容，经实验室主任签署意见后将返回联交回办公室；检验工作质量及任务完成情况每月汇总上报。

（三）事故分析报告制度

检验过程中发生下列情况按事故处理：样品丢失、损坏、零部件丢失；样品生产单位提供的技术资料丢失或失密，检验报告丢失，原始记录丢失或失密；因人员、检测设备、仪器、检测条件不符合检测工作的要求，试验方法错误，数据差错，从而造成的检验结论错误；检测过程中发生仪器设备损坏、人员伤亡。

因突然停水停电或其他外界干扰而中断检测，影响数据可靠和正确性的属意外事故；因仪器设备老化等非人为因素所造成的不按事故处理。

重大、大事故发生后应立即采取有效措施，防止事态扩大，抢救伤亡人员并保护现场，通知有关人员处理事故。事故发生后3天内由发生事故单位填写事故报告单，报办公室；5天内由中心负责人主持召开事故分析会作出相应处理，并在1周内上报上级主管部门；针对问题制定相应的解决办法。

表14-2　实验室事故等级分类

	小事故	一般事故	大　事　故	重　大　事　故
经济损失	≤100元	（100～1000）元	（1000～5000）元	≥5000元
人身伤亡	1人受伤休工≤3d	1人受伤，休工（3～30）d	2人受伤；或1人受伤，休工（1～6）个月	3人以上受伤，休工1年以上，或1人致残死亡

（四）计量器具管理制度

计量标准器具是最高实物标准，用于量值传递，特殊情况必须用于产品质量检验时应经中心（所）批准；计量标准器具的计量检定工作和维护保养工作由专人负责；计量标准器具保存环境应满足其说明书的要求，保持其技术状态处于最佳状态；计量标准器具的使用操作人员必须经考核合格并取得操作证书，每次使用都应作使用记录。

（五）标准物质及样品管理制度

标准物质是工作基准，也是一种计量标准器。标准物质由业务科保存，保存环境应使其不变质，不降低其使用性能；标准物质的购置由各使用科室提出申请，经中心负责人批准后统一购买，并按说明书上规定的使用期限定期更换，不得购买无许可证的标准物质；标准物质的发放需履行登记手续。

样品保管必须有专人负责；样品到达后由该人会同有关专业室共同开封检查，确认样本完好后编号并办理登记手续，然后入样品保管室保存；样品上应有明显的区分标志；确保不同厂家的同类产品不致混淆，确保样品与已检样品不致混淆；样品保管室的环境条件应符合样品所需的要求，不致使样品变质、丧失或降低其功能；样品保管必须账、物、卡三者相符；样品检验时由各专业室填单领取并办理相关手续；检验工作结束，检验结果经核实无误后将剩余样品送回保管室，可通知来样单位领回（检后样品保管期一般为申诉有效期后1个月，过期不领取则作无主物品处理）；除用户有特殊要求外，破坏性检验后的样品一般不再保存；备

用样品至少需保管3个月。

（六）仪器设备的购置、验收及管理制度

计量标准器具、测试仪器、设备、测试用化学试剂、玻璃器皿等的购置由各测试室提出申请，由中心主任批准后交业务科办理；普通试剂、器皿等在年初提出全年计划；对于临时性的、专用性强的、有效期短的物品提前1个月提出计划，由业务科统一采购。

各类仪器、设备、试剂等到货后由各使用科室进行质量复检，不能自检的应请有关单位来人复检，复检合格方能接收，填写相应卡片，不合格的统一由业务科联系返修或退货。

中心所有的仪器、设备实行统一管理调度，指定专人负责的原则。使用仪器、设备必须认真填写使用记录本，发现问题及时向仪器、设备负责人反映；各仪器、设备负责人要认真维护好设备，严禁违反操作规程或无操作证的人员使用仪器、设备。

仪器设备严禁超量程、超负荷、超周期使用或带病运行，凡因违反上述规定而产生的一切后果均由责任者承担。仪器设备在使用中发现异常，应立即停止使用，并查明原因，进行维修。测试仪器、设备的维修由仪表室管理，具体措施参见第三节内容。

当测试仪器、设备的技术性能降低或功能丧失、损坏时，应办理降级使用或报废手续。凡降级使用的仪器、设备均应由各测试室提出申请，由仪表室确定其实际检定精度，提出使用范围的建议，经中心主任批准后实验。降级使用情况应载入设备档案。凡报废的仪器、设备应由测试室填写《仪器、设备报废申请单》，经仪表室确认后由中心主任批准并填入设备档案。已报废的仪器、设备不应存放在实验室内，其档案由办公室统一保管。

计量标准器一律不出借，一般不得直接用于检测。中心内部仪器的借用由各测试室自行商定，但仪器、设备所有权的调动应经中心领导同意，并在技术档案上备案。外单位借用仪器、设备应办理书面手续并经中心领导批准，借出和归还都应检查仪器、设备的功能是否正常，并办理交接手续。

（七）技术资料管理制度

技术资料的管理由办公室负责。

应该长期保存的技术资料：国家、地区、部门有关产品质量检验工作的政策、法令、文件、法规和规定；产品技术标准、相关标准、参考标准（国内外的）；检测规程、规范、大纲、细则、操作规程和方法（国外的、国内的或自编的）；计量检定规程、暂行校验方法；仪器说明书、计量合格证、仪器仪表及设备的验收、维修、大修、使用、降级、报废的记录；仪器设备明细表和台账；产品图纸、工艺文件及其他技术文件。

属于定期保存的资料有：各类检验原始记录（保管期不少于5a）；各类检验报告（保管期不少于5a）；用户反馈意见及处理结果（保管期不少于5a）；样品入库、发放及处理登记本（保管期不少于3a）；检验报告发放登记本（保管期不少于3a）。

技术资料入库时应办理交接手续，统一编号，且按保存期长短分类；测试人员如需借阅资料，应办理借阅手续。原始资料未经技术负责人许可，不允许复制。资料室人员要严格为用户保守技术机密，否则以违反纪律处理。超过保管期的技术资料应分门别类造册登记，经中心主任批准后才能销毁。

（八）保密制度

保密范围：本中心业务、政策文件、技术水平、发展方向、科研项目的内容和进度；本中心未公开的技术资料、情报资料、检测仪器设备的技术条件及技术文件；本中心从事检测的特殊方法、技术手段和关键技术资料；送检单位的送检样品及全部技术资料，送检新产品

鉴定检验的技术文件及资料；检测原始记录、检验报告、仲裁报告、质量分析报告、检验事故分析报告的内容。

保密要求：认真遵守国家机关工作人员保密守则，凡违反本制度的规定
所造成影响和损失者酌情严肃处理；原始记录一般不允许被检产品单位或其他单位查阅；文件、技术资料、检验报告的查阅须经技术负责人批准，履行借阅手续，按时归还，如有损坏或遗失的要追求责任；不向任何无关人员透露中心内部有关保密事项；有关内部计划、报表、技术资料、检验记录、试验报告（总结）及科技情报资料等应由专人保管，任何人不得随意编印、转借和向外泄漏。

（九）技术安全管理制度

技术资料管理由中心的副主任主管并由办公室处理日常工作，各室也应设相应的不脱产人员分管。全中心所有工作人员都应自觉遵守安全制度和有关规定。严格执行操作规程，正确使用仪器、设备、工具，不得违章作业。外来人员、新来人员、见习人员、实习人员都应在接受安全教育后进入工作岗位，各单位每季度检查一次安全工作，全中心每半年检查一次，并写出检查报告。

（十）危险物品、贵重物品的管理制度

易燃、易爆、腐蚀性物品、剧毒品、放射性物品均属危险品，由业务科专人专库专账保管。各科室需用的危险品必须填写购买申请书，经室主任签字、领导批准后由业务科统一购买，任何部门不得自行购买。危险品的领用应经室主任签字批准，业务科核准后限额发放。危险品仓库应按规定与周围建筑设施、电源、火源间隔一定的距离并按其要求采取相应的安全措施。

贵重物品由办公室设专人专库建专账保管；领用贵重物品需经室主任签字批准后方可领用；领取后的贵重物品由领取人妥善保管，在使用过程中丢失，按责任事故处理；领用后未用或用后剩余的贵重物品应及早退回仓库，注明数量入库入账。

（十一）检验质量申诉的处理制度

检验质量申诉由质量负责人处理，并向中心负责人报告处理结果。受理检验质量申诉的有效期最长为自发出检验报告之日起3个月，特殊检测项目应在检验报告上另行注明，超过期限的质量申诉不予受理。

检验质量申诉包括以下几种：

（1）被检产品生产单位要求对检验结果作进一步解释，但未对检验质量表示明确异议。

（2）被检产品生产单位明确表示不同意检验结果而要求复查。

（3）被检产品生产单位未向本中心提出异议，而直接向上级主管部门申诉。

检验质量争议的处理程序如下：

（1）办公室将申诉分类登记后交质量负责人处理。

（2）质量负责人会同相关检测室主任检查原检验报告；查阅原始记录、检测仪器、检测方法、测试环境、数据处理、结论判断方法等，如确实无误，签发确认原检验报告正确有效的文件并办理登记手续。

（3）若经检查确因原始记录、数据处理、检验报告、结论判断等环节的失误而造成误判的应发题为《对于原编号为××的检验报告的更改》的报告，原检验报告作废，并办理登记手续，对造成错误的直接责任人作适当处理。

（4）若经查是因原测试条件、检测仪器、检测方法的错误而造成误检的应将备用样品重新进行检验，重新发送检验报告，一切费用由本中心负担，并对责任人进行处理。

（5）如确认原检验报告正确无误，则送样单位需支付与原测试费相等的复验费。

（6）如送样单位对复测结果仍有异议，可向上级部门反映，由高一级测试单位重新抽样检验，经济责任由败诉方负担。不可重复性试验原则上不受理申诉。

有关检验质量申诉的全部资料均作为技术档案在处理后一个月内由质量负责人整理后交办公室归档。

第八节　实验室环境要求

为了确保检测质量，实验室环境应满足以下条件：

（1）满足该实验室工作任务的要求，其中对部分实验室（包括化验室及平时存放仪器设备的仪器室）的环境（温度、湿度和其他要求）应满足相应的仪器设备使用保管的技术要求，对某些电磁检测设备的仪器室需有电磁屏蔽设施。仪器室内应配备供检查仪器用的试验台（桌）。

（2）实验室内应保持清洁、整齐，精密大型仪器室应有更衣换鞋的过渡间。

（3）检测仪器设备的放置应便于操作人员的操作，不能将实验室兼作检测人员的办公室。

（4）实验室应有防火安全设施，化验室应有通风设施。室内管道和电气线路的布置要整齐，电、水、气要有各自相应的安全管理措施。化学药品的放置应合乎安全管理的要求。

（5）实验室应配备必要的安全防防器具，如防毒面具、橡皮手套和防护眼镜等。

（6）三废处理应满足环保部门的要求。噪声大的试验设备（如破碎机等）应与操作人员的工作间隔离，工作间的噪声不得大于70 dB。

实验室环境的部分具体条件如下：

①电源电压：220V 及（380±10）V，配备稳压电源，计算机配不间断电源

②电磁屏蔽：特殊仪器室用双层铜丝网或铁皮屏蔽

③仪器室温度：(25±5)℃（用空调器控制）

④仪器室湿度：＜70%（用去湿机控制）

⑤仪器室噪声：＜55dB，其外部噪声可由双层钢窗阻隔

⑥仪器室防震：采用防震沟

⑦天平安装：加防震座

⑧实验准备室：有通风柜

⑨防火设施：配备1211灭火机

主要参考文献

1. 赵若江、单叙生、李亦农编著. 测试实验室计量认证及规范化管理. 北京：中国计量出版社，1992年.

第五篇　分析测试数据的统计处理

第十五章　数理统计基础

第一节　基础知识

一、总体和样本

1. 总体　又称母体，是指研究对象的全体或是指研究对象的某一特性的集合。

2. 样本　又称子样，是指从总体中随机抽取出有限个个体的集合。样本中所包含个体的数目称样本容量（n）。

二、真　值

真值是指被测定量本身所具有的真实大小。实际测量中不可能得到真值。实际工作中所用的真值（μ）有三类：

1. 理论真值　如三角形内角之和等于180°。

2. 约定真值　是指用完善测量所得到的量值充分接近于真值，可以代替真值使用的量值，由国际计量大会定义的单位。如国际单位制（SI）的基本单位。

3. 相对真值　是指标准参考物质的证书上所标出的数值，如国际原子量。

三、均　值

1. 算术平均值（$\bar{x}$）　是指 n 次等精度测定所得到的测定值（x_i）的总和除以测定次数所得的商。

$$\bar{x}=\frac{1}{n}(x_1+x_2+\cdots+x_n)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \qquad (i=1,2,\cdots,n) \tag{15—1}$$

2. 加权平均值（$\bar{w}$）　由不等精度测定所得到的测定值 x_i 乘以各自加权因子 w_i 之和除以总权所计算的平均值：

$$\bar{w}=\frac{\sum_{i=1}^{m}(w_i x_i)}{\sum_{i=1}^{m}w_i} \qquad (i=1,\ 2,\ \cdots,\ m) \tag{15—2}$$

式中 m 为组数，w_i 为测定值的权。$w_i=\frac{1}{s_i^2}$，s_i^2是测定值的方差。

3. 均值的性质

（1）均值使偏差（d）之和为零。

设

$$d_i=x_i-\bar{x} \tag{15—3}$$

$$\sum_{i=1}^{n} d_i = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^{n} x_i - n\bar{x} = 0$$

（2）均值是偏差平方和（Q）最小的值。

$$Q = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \qquad (15\text{—}4)$$

设 $\bar{x} = a$，则 $\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a}\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i - a)^2\right]$

当 $\frac{\partial Q}{\partial a} = 0$ 时，$a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$

（3）样本均值 $\bar{x}$ 是总体均值 μ 的无偏估计值。

四、中位数（M）

把一组数据从小到大排列后，当样本容量 n 为奇数时，排在正中间的那个测量值就是中位数；若 n 为偶数，中位数是中间两个测量值的平均值，中位数与均值比较，受极端值的影响较小。中位数的绝对偏差之和最小。

五、精密度和准确度

1. 精密度　是表示多次重复测定某一量所得到的测量值（x）的离散程度。它可用偏差（d），平均偏差（$\bar{d}$），标准偏差（s）和极差（R）来量度。

$$\text{偏差 } d_i = x_i - \bar{x} \qquad (i = 1, 2, \cdots, n) \qquad (15\text{—}5)$$

式中 $\bar{x}$ 是测量值的平均值。

$$\text{平均偏差 } \bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|x_i - \bar{x}|}{n} \qquad (15\text{—}6)$$

$$\text{相对平均偏差} = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% \qquad (15\text{—}7)$$

$$\text{标准偏差 } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (15\text{—}8)$$

$$\text{相对标准偏差} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \qquad (15\text{—}9)$$

极差（R），一组数据中最大值与最小值之差称为极差，又称全距或范围。

$$R = x_{\max} - x_{\min} \qquad (15\text{—}10)$$

2. 准确度　是指测定值（x_i）与真值（μ）的相符程度，它表示测定值的可靠性，用误差（ε）和相对误差表示：

$$\varepsilon_i = x_i - \mu \qquad (i = 1, 2, \cdots, n) \qquad (15\text{—}11)$$

$$\text{相对误差} = \frac{\varepsilon}{\mu} \times 100\% \qquad (15\text{—}12)$$

六、方差及标准偏差

1. 方差　方差是指测量值（x）的离散程度。总体方差（σ^2）定义为：测量值对总体均值（μ）的误差平方和的平均：

$$\sigma^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2 \quad (n\rightarrow\infty) \tag{15—13}$$

在通常的测量中，只作有限次测量，其方差估计值（s^2）是指测量值对均值的偏差平方和的平均：

$$s^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})}{n-1} \tag{15—14}$$

其中 $n-1=f$ 称为自由度，f 是指偏差平方和中独立项的数目。

2. 标准偏差　方差的平方根的正值为标准偏差（或标准差）。总体标准偏差记为 σ

$$\sigma=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2} \qquad (n\rightarrow\infty) \tag{15—15a}$$

样本标准偏差记为 s

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{15—15b}$$

3. 平均值的标准偏差　对于一组等精度的测定，其总体平均值的标准偏差（$\sigma_{\bar{x}}$）为

$$\sigma_{\bar{x}}=\frac{1}{\sqrt{n}}\sigma_x \tag{15—16}$$

在实际工作中，测定次数是有限的，即样本平均值的标准偏差（$s_{\bar{x}}$）为

$$s_{\bar{x}}=\frac{1}{\sqrt{n}}s_x \tag{15—17a}$$

对于不等精度的测定，即加权平均值的标准偏差（$s_{\bar{w}}$）为

$$s_{\bar{w}}=\sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{s_i^2}\right)}} \tag{15—17b}$$

七、标准偏差的计算方法

1. 由样本值直接计算（*Bessel* 法）　若有一组测定值 x_1，x_2，…，x_n，各测定值是等精度的，且遵从正态分布，则标准偏差

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}x_2\right)^2/n}{n-1}}$$

2. 极差法　当测量值次数 $n<10$时，标准偏差（s）

$$s=\frac{1}{c}\cdot R \tag{15—18}$$

式中 R 为极差，c 是随 n 而变的一个系数，见表15-1。

当 $n>10$时，可将 n 个数据分成 k 组，一般每组内包含的测定值个数 $n_i<10$，则

$$s=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}s_i=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\frac{R_i}{c_i} \tag{15—19}$$

式中 R_i 是各组内极差　c_i 是与组内数据个数 n_i 有关的系数，当分组是均匀的，即$n_1=n_2=\cdots=$

n_k，则 $c_1=c_2=\cdots=c_k$，那么上式可简化为

$$s=\frac{1}{c}\frac{\sum_{i=1}^{k}R_i}{k}=\frac{\overline{R}}{c} \qquad (15\text{—}20)$$

式中 $\overline{R}$ 是平均极差，c 则是随 n 及 k 而变的系数（见表15-1）

表15-1　由极差 R 估算标准偏差 s 时校正因数 c_1 值及自由度 f 值表

$$s=\frac{\overline{R}}{c_1}=\frac{1}{c_1}\frac{\sum_{i=1}^{k}R_i}{k}$$

n_i ＼ k		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	$k>5$	$k=\infty$
2	f	1.0	1.9	2.8	3.7	4.6	9.0	13.4	17.8	22.2	26.5	$0.876k+0.25$	1.128
	c_1	1.41	1.28	1.23	1.21	1.19	1.16	1.15	1.14	1.14	1.14	$1.128+0.32/k$	
3	f	2.0	3.8	5.7	7.5	9.3	13.4	27.5	36.6	45.6	54.7	$1.815k+0.25$	1.693
	c_1	1.91	1.81	1.77	1.75	1.74	1.72	1.71	1.70	1.70	1.70	$1.693+0.23/k$	
4	f	2.9	5.7	8.4	11.2	13.9	27.6	41.3	55.0	68.7	82.4	$2.738k+0.25$	2.059
	c_1	2.24	2.15	2.12	2.11	2.10	2.08	2.07	2.06	2.06	2.06	$2.059+0.19/k$	
5	f	3.8	7.5	11.1	14.7	18.4	36.5	54.6	72.7	90.8	108.9	$3.623k+0.25$	2.326
	c_1	2.48	2.40	2.38	2.37	2.36	2.34	2.33	2.33	2.33	2.33	$2.326+0.16/k$	
6	f	4.7	9.2	13.6	18.1	22.6	44.9	67.2	89.6	111.9	134.2	$4.466k+0.25$	2.534
	c_1	2.67	2.60	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.54	2.54	2.54	$2.534+0.14/k$	
7	f	5.5	10.8	16.0	21.3	26.6	52.9	79.3	105.6	131.9	158.3	$5.267k+0.25$	2.704
	c_1	2.83	2.77	2.75	2.74	2.73	2.72	2.71	2.71	2.71	2.71	$2.704+0.13/k$	
8	f	6.3	12.3	18.3	24.4	30.4	60.6	90.7	120.9	151.0	181.2	$6.031k+0.25$	2.847
	c_1	2.96	2.91	2.89	2.88	2.87	2.86	2.85	2.85	2.85	2.85	$2.847+0.12/k$	
9	f	7.0	13.8	20.5	27.3	34.0	67.8	101.6	135.3	169.2	203.0	$6.759k+0.25$	2.970
	c_1	3.08	3.02	3.01	3.00	2.99	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97	$2.970+0.11/k$	
10	f	7.7	15.1	22.6	30.1	37.5	74.8	112.0	149.3	186.6	223.8	$7.453k+0.25$	3.078
	c_1	3.18	3.13	3.11	3.10	3.10	3.09	3.08	3.08	3.08	3.08	$3.078+0.10/k$	

3. 中位数法　在小样本测定中，当偏差取自中位数，则可按照表（15-2）中公式计算标准偏差。

表15-2　用对中位数偏差计算标准偏差公式

测定次数 n	计算公式	测定次数 n	计算公式
2	$0.8862(x_2-x_1)$	12	$0.1524(x_{12}+x_{11}+x_9-x_4-x_2-x_1)$
3	$0.5908(x_3-x_1)$	13	$0.1456(x_{13}+x_{12}+x_{10}-x_4-x_2-x_1)$
4	$0.4857(x_4-x_1)$	14	$0.1399(x_{14}+x_{13}+x_{11}-x_4-x_2-x_1)$
5	$0.4299(x_5-x_1)$	15	$0.1355(x_{15}+x_{14}+x_{12}-x_4-x_2-x_1)$
6	$0.2619(x_6+x_5-x_2-x_1)$	16	$0.1311(x_{16}+x_{15}+x_{13}-x_4-x_2-x_1)$
7	$0.2370(x_7+x_6-x_2-x_1)$	17	$0.1050(x_{17}+x_{16}+x_{15}+x_{13}-x_5-x_3-x_2-x_1)$
8	$0.2197(x_8+x_7-x_2-x_1)$	18	$0.1020(x_{18}+x_{17}+x_{16}+x_{14}-x_5-x_3-x_2-x_1)$
9	$0.2068(x_9-x_8-x_2-x_1)$	19	$0.9939(x_{19}+x_{18}+x_{17}+x_{15}-x_5-x_3-x_2-x_1)$
10	$0.1968(x_{10}+x_9-x_2-x_1)$	20	$0.9706(x_{20}+x_{19}+x_{18}+x_{16}-x_5-x_3-x_2-x_1)$
11	$0.1608(x_{11}+x_{10}+x_8-x_3-x_2-x_1)$		

4. 最大误差法　若真值已知，在 n 次测定中得到 n 个误差 $\epsilon_i=x_i-\mu$，其中绝对值最大的误差为 $|\epsilon_i|_{max}$，则标准偏差可由下式估算。

$$s=c_n|\varepsilon_i|_{\max}=\frac{|\varepsilon_i|_{\max}}{k_n} \tag{15—21}$$

式中 c_n 是与测定次数 n 有关的系数，$c_n=\frac{1}{k_n}$，c_n 值见表15-3。

表15-3　最大误差法系数 c_n 与测定次数的关系

n	c_n	n	c_n	n	c_n	n	c_n	n	c_n	n	c_n
1	1.25	6	0.61	11	0.52	16	0.48	21	0.46	26	0.44
2	0.88	7	0.58	12	0.51	17	0.48	22	0.45	27	0.44
3	0.75	8	0.56	13	0.50	18	0.47	23	0.45	28	0.44
4	0.68	9	0.55	14	0.50	19	0.47	24	0.45	29	0.43
5	0.64	10	0.53	15	0.49	20	0.46	25	0.44	30	0.43

5. 最大偏差法　若进行 n 次独立测定，得 x_1、x_2，…，x_n；均值 $\bar{x}$，其偏差

$$d_i=x_i-\bar{x}$$

因此，单次测定的标准偏差为

$$s=\frac{|d_i|_{\max}}{k_n} \tag{15—22}$$

式中 k_n 与测定次数有关的系数，其值见表15-4。

表15-4　最大偏差法 k_n 系数表

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
$1/k_n$	1.77	1.02	0.83	0.74	0.68	0.64	0.61	0.59	0.57	0.51	0.48	0.46	0.44

第二节　正 态 分 布

一、正态分布的概率密度函数

随机变量所有可能的取值和每一个可能取值的相应概率的分布称为随机变量的概率分布。在分析测试中，测量值和测定误差都是随机变量，它遵从一定的概率分布。

若有 n 个测定值 $x_1,x_2,\cdots,x_n$，当 n 足够大时，这 n 个测定值，通常表现为正态分布，可用正态概率密度函数来表示。对任何正态变量 x，概率密度函数 $f(x)$

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right],(-\infty<x<\infty) \tag{15—23}$$

式中 μ 是总体均值，表示样本值的集中趋势，在不存在系统误差的情况下，就是真值。

$$\mu=\int_{-\infty}^{\infty}x\cdot f(x)\mathrm{d}x \tag{15—24}$$

σ^2是总体方差，表示测定值的离散程度。

$$\sigma^2=\int_{-\infty}^{\infty}(x-\mu)^2\cdot f(x)\mathrm{d}x \tag{15—25}$$

随机变量 x 的正态分布可表示为 $N=(\mu,\sigma^2)$。x 的分布曲线如图15-1所示。

正态分布具有下列重要性质：

(1)在 $x=\mu$ 点，$f(x)$达到极大值。当 $\sigma=1$，$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\approx0.4$；当 $\sigma=0.5$，$f(x)=\frac{1}{0.5\sqrt{2\pi}}$

≈ 0.8，σ越小，测定值精密度越好，集中在均值附近的越多。

(2)正态分布密度函数曲线，关于$x=\mu$时是对称的，即相对于平均值而言，测定值出现正负偏差的机会是相同的。

(3)在$x=\mu\pm\sigma$处，各有一个拐点。

(4)μ的变化，导致曲线的平移，但不改变它的形状。利用这一性质，通过统计检验。可以对测试中是否存在系统误差做出判断。

(5)σ^2的变化，使曲线变宽或变窄，而不改变μ值，利用这一性质，通过统计检验，可以对测试的精密度是否有显著性差异做出判断。

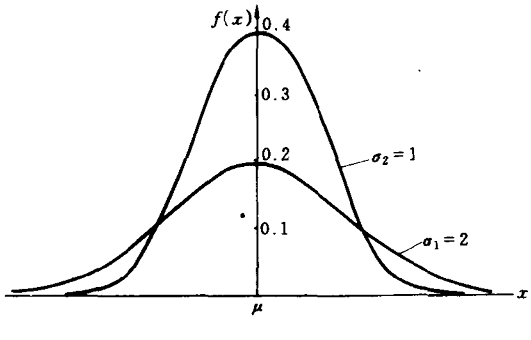


图 15-1　正态分布，概率密度曲线
(μ相同，$\sigma_2<\sigma_1$)

二、随机误差的分布

如果将(15—19)式中的自变量(x，测定值)换作单次测定的误差(ξ)

$$\xi=x-\mu$$

则可得到随机误差正态分布密度函数$f(\xi)$

$$f(\xi)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma^2}\right) \tag{15—26}$$

记为$N(0,\sigma^2)$。分布曲线如图15-2所示。

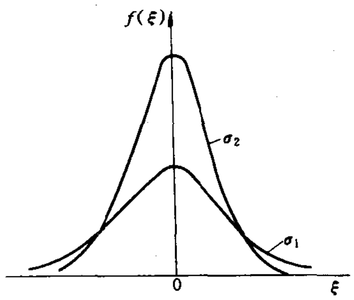


图 15-2　随机误差的正态分布曲线
($\sigma_1=2\sigma_2$)

从随机误差正态分布曲线看出：

(1)当横坐标$\xi=x-\mu=0$时，概率密度$f(\xi)$值最大

$$f(\xi)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

因此，曲线形状只取决于标准偏差σ。

当$\sigma=0.5$，$f(\xi)\approx 0.8$；当$\sigma=1.0$，$f(\xi)\approx 0.4$；当$\sigma=2.0$，$f(\xi)\approx 0.2$。所以，当σ越小，曲线越陡。

(2)纵坐标从$x=0$移到$x=\mu$。所以，曲线以$\xi=0$的直线为对称轴。

随机误差具有如下性质：

(1)对称性，正负误差出现的概率相等。

(2)出现小误差的概率大，大误差的概率小。此外，有时(15—19)式还可表示为

$$f(\xi)=\frac{h}{\sqrt{\pi}}\exp[-h^2\xi^2] \tag{15—27}$$

式中　$h=\dfrac{1}{\sigma\sqrt{2}}$

h与σ成反比，即σ越小，h就越大，精密度越高。因此，h又称精密度指数。

三、标准正态分布

如果以标准偏差 σ 为单位表示随机误差，即横坐标用变量 u 表示

$$u=\frac{x-\mu}{\sigma} \tag{15—28}$$

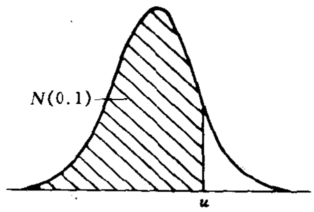
则得到

$$f(u)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \tag{15—29}$$

$f(u)$仍为随机误差的正态分布密度函数。由于两个基本参数($\mu=0,\sigma=1$)已确定，所以它的分布也是确定的。称为标准正态分布，记为 $N(0,1)$。其曲线的位置和形状是唯一的。因此，可把标准正态分布制成表15-5，由标准正态分布表，可以方便的求得 x 落在某一区间的概率。

表15-5(1)　标准正态分布的累积分布 $N(0,1)$数值表

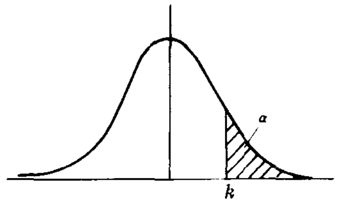
$$N(0,1)=\int_{\infty}^{u}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right)du$$



u	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
u	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	3.891	4.417	
$N(u)$	.90	.95	.975	.99	.995	.999	.9995	.99995	.999995	
$2[1-N(u)]$	.20	.10	.05	.02	.01	.002	.001	.0001	.00001	

表15-5(2)　标准正态分布表

$$\alpha=\int_k^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)\cdot du$$



k	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3694	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1429	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0863	.0838	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0665	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0491	.0392	.0284	.0375	.0367
1.8	.0359	.0359	.0341	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0291
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0156	.0154	.0150	.0146	.0443
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0104	.0102	.00990	.00964	.00939	.00944	.00889	.00866	.00842
2.4	.00820	.00798	.00776	.00755	.00734	.00714	.00695	.00676	.00657	.00639
2.5	.00621	.00604	.00587	.00570	.00554	.00539	.00523	.00508	.00494	.00480
2.6	.00466	.00453	.00440	.00427	.00445	.00402	.00391	.00379	.00368	.00357
2.7	.00347	.00336	.00326	.00317	.00307	.00298	.00289	.00280	.00272	.00264
2.8	.00256	.00248	.00240	.00233	.00226	.00219	.00212	.00205	.00199	.00193
2.9	.00187	.00181	.00175	.00169	.00164	.00159	.00154	.00149	.00144	.00139

四、对数正态分布

由于在实际的分析测试中，所获得的数据，不一定都服从正态分布，有的数据经过对数变换，以 $\lg x$(或 $\ln x$)代替测定值 x 后，数据 $\lg x$(或 $\ln x$)服从正态分布，则称 x 服从对数正态分布。其数据就可按正态分布处理。

第三节　t 分　布

分析测试数据当 $n>30$时，一般都遵从正态分布，因此，可以用大样本的均值 $\bar{x}$ 和方差 s^2

作为总体均值 μ 和 σ^2的无偏估计量。而在通常的分析测试中，只进行3—5次测定，都是小样本试验。需用小样本统计理论来处理，可用 t 分布来处理，t 分布是与正态分布相类似的一种统计分布。统计量 t 定义为

$$t=\frac{\bar{x}-\mu}{s_{\bar{x}}}=\frac{\bar{x}-\mu}{s_x/\sqrt{n}} \qquad (15—30)$$

式中，$\bar{x}$ 是样本平均值；μ 是样本真值（总体均值）；$s_{\bar{x}}$是样本均值的标准偏差；s_x 是单次测定值的标准偏差，则 $s_{\bar{x}}=s_x/\sqrt{n}$。

t 分布的概率密度函数 $f(t)$

$$f(t)=\frac{1}{\sqrt{\pi f}}\frac{\Gamma\left(\frac{f+1}{2}\right)}{\Gamma\frac{f}{2}}\cdot\left(1+\frac{t^2}{f}\right)^{-\frac{(f+1)}{2}} \qquad (15—31)$$

式中 f 为自由度，其值 $f=n-1$。t 的概率密度曲线见图15-3。

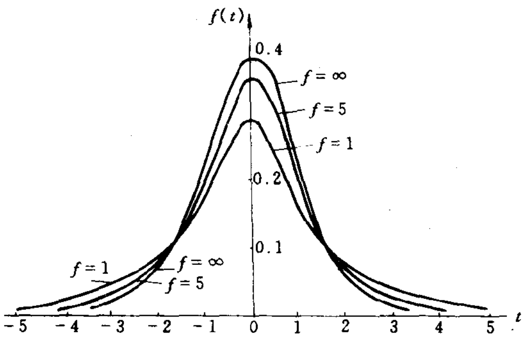


图 15-3　t 分布曲线

从 t 分布概率密度函数及曲线看出

(1)函数 $f(t)$只取决于 f 和 t 。t 分布临界值见表15-6。

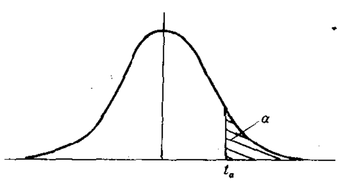
(2)所有曲线都保持了正态分布曲线的形状，当 $f<10$时，t 分布曲线与正态分布曲线差别较大。随着 f 增大，t 分布概率密度曲线逐渐接近正态分布概率密度曲线，当 $f\to\infty$时，二者是严格一致的，这时统计量 t 等于统计量 u，即 $t=u$。从(15—30)式可以得到式(15—30)。

$$\bar{x}-t\frac{s_x}{\sqrt{n}}\leqslant\mu\leqslant\bar{x}+t\frac{s_x}{\sqrt{n}} \qquad (15—32)$$

(15—32)式表示总体平均值的置信区间。t 值取决于约定显著性水平 α（置信度 $E=1-\alpha$）和样本容量 n。$t_{\alpha,f}$临界值可由表15-6查得，实验精密度越高（即 s 值越小），误差限越小，则用样本均值估计总体均值就越准确。

表15-6(1)　t 分布临界值表(单侧)

$p\{t(f)>t_\alpha(f)\}=\alpha$



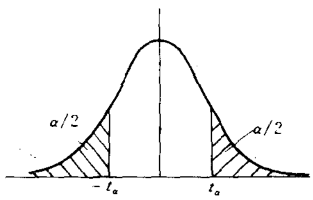
f	α=0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3138	12.7062	31.8207	63.6574
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0322
6	0.7176	1.4398	1.6432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693

续表

f	α=0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5177	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6833	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3006	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896

表15-6(2)　t 分布临界值表(双侧)

$$p\{|t|>t_{(\alpha,f)}\}=\alpha$$



f \ α	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	6.31	12.71	31.82	63.66	636.62
2	2.92	4.30	6.97	9.93	31.60
3	2.35	3.18	4.54	5.84	12.94
4	2.13	2.78	3.75	4.80	8.61
5	2.02	2.57	3.37	4.03	6.86
6	1.94	2.45	3.14	3.71	5.96
7	1.90	2.37	3.00	3.50	5.41
8	1.86	2.31	2.90	3.36	5.04
9	1.83	2.26	2.82	3.25	4.78
10	1.81	2.23	2.76	3.17	4.59

续表

f \ α	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
11	1.80	2.20	2.72	3.11	4.44
12	2.78	2.18	2.68	3.06	4.32
13	1.77	2.16	2.85	3.01	4.22
14	1.78	2.15	2.82	2.98	4.14
15	1.75	2.13	2.80	2.95	4.07
16	1.75	2.12	2.58	2.92	4.02
17	1.74	2.11	2.57	2.90	3.97
18	1.73	2.10	2.55	2.88	3.92
19	1.73	2.09	2.54	2.86	3.88
20	1.73	2.09	2.53	2.85	3.85
21	1.72	2.08	2.52	2.83	3.82
22	1.72	2.07	2.51	2.82	3.79
23	1.71	2.07	2.50	2.81	3.77
24	1.71	2.06	2.49	2.80	3.75
25	1.71	2.06	2.48	2.79	3.73
26	1.71	2.06	2.48	2.78	3.71
27	1.70	2.05	2.47	2.77	3.69
28	1.70	2.05	2.47	2.76	3.67
29	1.70	2.04	2.46	2.76	3.66
30	1.70	2.04	2.46	2.75	3.65
40	1.68	2.02	2.42	2.70	3.55
60	1.67	2.00	2.39	2.66	3.46
120	1.66	1.98	2.36	2.62	3.37
∞	1.64	1.96	2.33	2.58	3.29

第四节　χ^2　分　布

一、χ^2分布概率密度函数

若 x 是遵从正态分布 $N(\mu,\sigma^2)$的随机变量，从总体中随机抽取容量为 n 的样本，样本方差为 s^2，则统计量：

$$\chi^2_{n-1}=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{\sigma}\right)^2=\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} \qquad (15\text{—}33)$$

它遵从 $f=n-1$的 χ^2分布，其概率密度函数为

$$f(\chi^2)=\frac{1}{2^{\frac{f}{2}}\cdot\Gamma\left(\frac{f}{2}\right)}\cdot(\chi^2)^{\left(\frac{f-2}{2}\right)}\cdot\exp\left(-\frac{\chi^2}{2}\right) \qquad (15\text{—}34)$$

$$(0\leqslant\chi^2<\infty)$$

其曲线如图15-4所示。

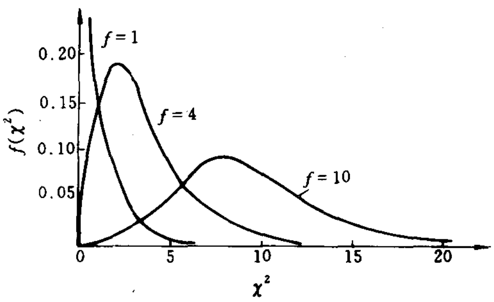


图 15-4　χ^2分布概率密度曲线

χ^2分布曲线是不对称的，随着样本容量增大，曲线不对称性逐渐减小。χ^2分布表见表15-7。

二、估计总体方差σ^2的置信区间

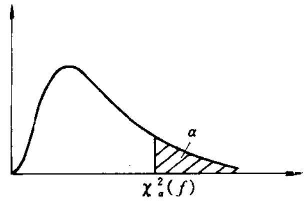
利用(15-33)式可估计总体方差σ^2的置信区间

$$\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{(1-\alpha/2,f)}} \leqslant \sigma^2 \leqslant \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{(\alpha/2,f)}} \qquad (15\text{—}35)$$

式中α是给定的显著性水平，在给定的α和f值下χ^2值可由表15-7查得。

表15-7　χ^2分布表

$P\{\chi^2(f) > \chi^2_\alpha(f)\} = \alpha$



f \ α	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.75	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	—	—	0.001	0.004	0.016	0.102	1.323	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	0.575	2.773	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	4.108	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	5.385	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.675	6.626	9.236	11.071	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	3.455	7.841	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	4.255	9.037	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	5.071	10.219	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	5.899	11.389	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	6.737	12.549	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	7.584	13.701	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	8.438	14.845	18.549	21.026	23.337	26.217	28.299
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	9.299	15.984	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	10.165	17.117	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	11.037	18.245	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	11.912	19.369	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	12.792	20.489	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	13.675	21.605	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	14.562	22.718	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	15.452	23.828	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	16.344	24.935	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.042	17.240	26.039	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	18.137	27.141	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	19.037	28.241	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	19.939	29.339	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	20.843	30.435	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	21.749	31.528	36.741	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	22.657	32.620	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.257	16.047	17.708	19.768	23.567	33.711	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.954	16.791	18.493	20.599	24.478	34.800	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672

续表

f \ α	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.75	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
31	14.458	15.655	17.539	19.281	21.434	25.390	35.887	41.422	44.985	48.232	52.191	55.003
32	15.134	16.362	18.291	20.072	22.271	26.304	36.973	42.585	46.194	49.480	53.486	56.328
33	15.815	17.074	19.047	20.867	23.110	27.219	38.058	43.745	47.400	50.725	54.776	57.648
34	16.501	17.789	19.806	21.664	23.952	28.136	39.141	44.903	48.602	51.906	56.061	58.964
35	17.192	18.509	20.569	22.465	24.797	29.054	40.223	46.059	49.802	53.203	57.342	60.275
36	17.887	19.233	21.336	23.269	25.643	29.973	41.304	47.212	50.998	54.437	58.619	61.581
37	18.586	19.960	22.106	24.075	26.492	30.893	42.383	48.363	52.192	55.668	59.892	62.883
38	19.289	20.691	22.878	24.884	27.343	31.815	43.462	49.513	53.384	56.896	61.162	64.181
39	19.996	21.426	23.654	25.695	28.196	32.737	44.539	50.660	54.572	58.120	62.428	65.476
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	33.660	45.616	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766
41	21.421	22.906	25.215	27.326	29.907	34.585	46.692	52.949	56.942	60.561	64.950	68.053
42	22.138	23.650	25.999	28.144	30.765	35.510	47.766	54.090	58.124	61.777	66.206	69.336
43	22.859	24.398	26.785	28.965	31.625	36.436	48.840	55.230	59.304	62.990	67.459	70.616
44	23.584	25.148	27.575	29.787	32.487	37.363	49.913	56.369	60.481	64.201	68.710	71.893
45	24.311	25.901	28.366	30.612	33.350	38.291	50.985	57.505	61.656	65.410	69.957	73.166

第五节 F 分 布

若 $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 为总体 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 的一个随机样本，$x_1', x_2', \cdots, x_n'$ 为另一个总体 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 的随机样本，并且相互独立，它们的方差分别为 s_1^2 和 s_2^2，则统计量：

$$F=\frac{s_1^2}{s_2^2} \qquad (15—36)$$

遵从第一自由度 $f_1=n_1-1$ 和第二自由度 $f_2=n_2-1$ 的 F 分布。

F 分布的概率密度函数为

$$f_{(F)}=\frac{\Gamma\left(\frac{f_1+f_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{f_1}{2}\right)\cdot\Gamma\left(\frac{f_2}{2}\right)}\cdot f_1^{\frac{f_1}{2}}\cdot f_2^{\frac{f_2}{2}}\cdot\frac{F^{\frac{(f_1-2)}{2}}}{(f_2+f_1F)^{\frac{(f_1+f_2)}{2}}} \qquad (15—37)$$

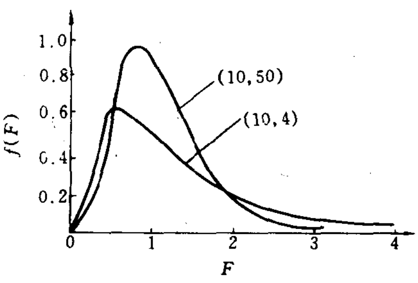
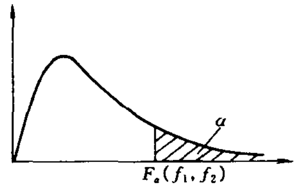


图 15-5 F 分布曲线

它取决于 F 值和计算样本方差 s_1^2 和 s_2^2 的自由度 f_1 和 f_2，相应的 F 分布曲线如图15-5所示。

从图15-5看出 F 分布曲线是不对称的，但随着 f_1, f_2 增加不对称性减少。F 分布表见表15-8。

表 15-8（1）　*F* 分布表（α=0.01）



f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	60	∞
1	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6313	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.48	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.32	26.13
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.65	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.20	9.02
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.06	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	5.82	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.03	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.48	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.03	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	3.78	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.54	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.34	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.19	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.05	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	2.93	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.10	2.83	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	2.75	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.67	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.61	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.55	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.50	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.45	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.40	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.36	2.17
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.21	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.02	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	1.84	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.66	1.38
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.47	1.00

表 15-8（2） *F* 分布表（α=0.025）

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.89	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.83
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.48
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.00

表 15-8（3） *F* 分布表（α=0.05）

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.23
8	5.32	4.40	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.93
9	5.12	4.26	3.80	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.39
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.00

表 15-8（4） *F* 分布表（α=0.10）

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.58	62.79	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.10
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.06
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.23	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	3.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.31	1.78	1.75	1.72	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.13	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.95	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.29
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.00

表 15-8（5） *F* 分布表（α=0.25）

f_2 \ f_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	60	∞
1	5.83	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.76	9.85
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.46	3.48
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.47	2.47
4	1.81	2.00	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88	1.87	1.87
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.74	1.74
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.69	1.69	1.68	1.68	1.67	1.65	1.65
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.64	1.63	1.62	1.62	1.61	1.59	1.58
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.54	1.53
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.50	1.48
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.47	1.45
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.44	1.42
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.42	1.40
14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.40	1.38
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.38	1.36
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.40	1.36	1.34
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39	1.35	1.33
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.38	1.34	1.32
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.37	1.33	1.30
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.36	1.32	1.29
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.31	1.28
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.30	1.28
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.30	1.27
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.29	1.26
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.28	1.25
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.26	1.23
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28	1.22	1.19
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.19	1.15
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.16	1.10
∞	1.32	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19	1.12	1.00

第十六章　分析测试数据的统计检验

第一节　测试数据分布类型的检验

分析测试数据的分布一般有3种类型：正态分布，对数正态分布和偏态分布。在分析化学中获得的数据，通常为正态分布。在痕量分析中，测试数据有时不遵从正态分析，而服从对数正态分布，为了分清数据分布的规律性，可采用以下方法。

一、直　方　图

对于一组测定值（$n \geqslant 100$），制作直方图，步骤如下：

①找出测定值中最大值和最小值，求出极差。

②根据样本的大小分组，求出组距（Δx）。

③确定分组边界值和组中值。

④数出各组的频数（n_i），求出频率（n_i/n）和相对频率〔$n_i/(n \cdot \Delta x)$〕。

⑤以组距（Δx）为横坐标，相对频率为纵坐标作直方图。

例如用碘法测定某一铜合金中，铜含量的一组实验数据如下表所示，经分组处理后，求出频率和相对频率，列成表16-1。然后以组距（Δx）为横坐标，相对频率为纵坐标作直方图，见图16-1。

铜含量 $w/(\%)$ 数据

60.04	60.90	61.58	60.55	60.17
61.22	59.88	60.22	61.00	60.57
60.37	60.77	60.54	61.31	60.62
61.25	61.17	60.92	61.07	61.12
60.86	60.64	60.63	60.65	60.65
60.64	60.41	60.58	60.70	60.47
61.02	61.25	60.42	61.31	61.83
61.20	61.30	60.25	60.32	60.98
60.76	60.97	60.53	60.64	60.76
60.82	60.65	60.50	60.77	61.14
60.46	61.52	61.41	60.76	60.89
60.74	61.06	60.37	60.38	59.98
60.50	60.76	60.35	60.12	60.91
60.53	60.94	60.70	60.77	60.33
61.05	61.10	60.40	61.62	61.01
60.58	60.63	60.92	60.80	60.61
60.59	60.57	60.62	60.58	60.57
61.15	61.04	61.06	61.03	61.00
60.65	60.63	60.76	60.99	60.92
60.76	60.66	60.78	60.43	60.92
61.38	60.14	60.83	60.81	60.97
60.54	60.83	60.99	60.90	60.07

从图16-1看出，所有矩形面积之和等于频率的总和：

$$s_{总} = \sum s_i = \sum \frac{n_i}{n \cdot \Delta x} \cdot \Delta x = \frac{\sum n_i}{n} = 1 \qquad (16-1)$$

如果样本容量无限增多($n \to \infty$)，组距分得很细($\Delta x \to 0$)时，直方图趋于一条平滑的曲线，从曲线的形状，可以初步判断测试数据的分布状况。

二、正态概率图示检验法

正态概率纸是通过标准正态分布来设计的。对于标准正态分布，其累计分布函数可表示为

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) \mathrm{d}u$$

当 u 等距离变化时，u 为…，-3，-2，-1，0，

1，2，3，…由标准正态分布可分别求得它们的概率：0.13%，2.3%，15.9%，84.1%，97.7%，累计分布函数曲线如图（16-2）。如果把 u 值作为纵坐标，设纵坐标 $\Phi(u)=50\%$ 的点为中心，相应于 $u=0$，正态分布累计分布函数曲线可变为直线，见图（16-3）。

表16-1　频率分布表

组　序	分　　组	n_i	$\frac{n_i}{n}$	$\frac{n_i}{n\cdot\Delta x}$
1	59.835～60.035	2	0.018	0.090
2	60.035～60.235	5	0.046	0.230
3	60.235～60.435	11	0.100	0.500
4	60.435～60.635	22	0.200	1.000
5	60.635～60.835	26	0.236	1.180
6	61.835～61.035	20	0.182	0.910
7	61.035～61.235	13	0.118	0.590
8	61.235～61.435	7	0.064	0.320
9	61.435～61.635	3	0.027	0.135
10	61.635～61.835	1	0.009	0.045
$\sum$		110	1	

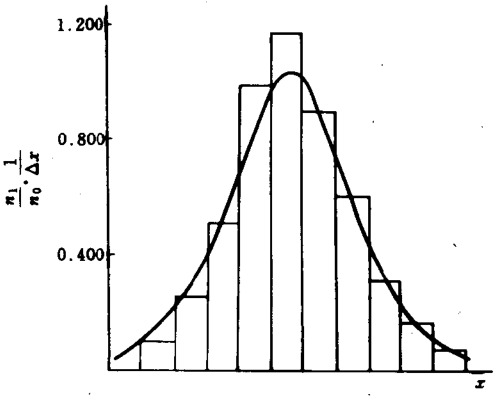


图16-1　直方图

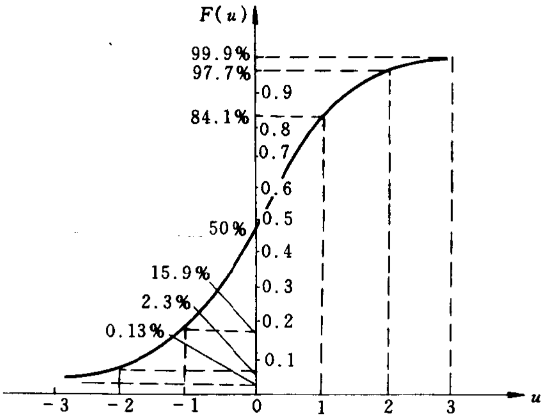


图16-2　标准正态分布的累计分布函数曲线

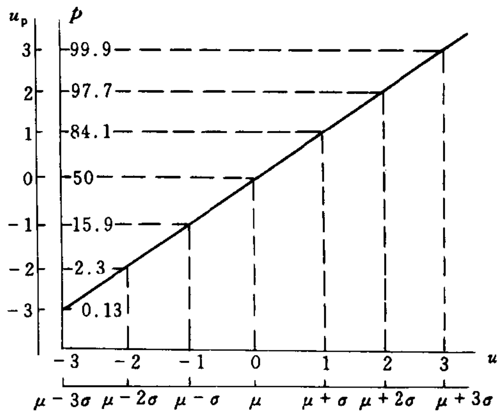


图16-3　坐标系变换

对于一般的正态分布可用：

$$u=\frac{x-\mu}{\sigma} \tag{16—2}$$

化为标准正态分布，所以一般形式的正态分布函数表示在这种正态概率纸上就是通过点（μ，0），斜率为$\frac{1}{\sigma}$的直线（$u\sigma=x-\mu$，$\therefore \mu=x-u\sigma$）。对于一般正态分布，在直线上，纵坐标 $p=50\%$ 所对应的横坐标为 μ，纵坐标 $p=15.9\%$，所对应的横坐标为 $\mu-\sigma$，由此可求得正态分布参数 μ 和 σ。其具体作法是：

①将样本测定值按大小顺排成 $x_1\leqslant x_2\leqslant$，…，$\leqslant x_n$；

②对于每个 x_i 计算出一个 $p(x_i)$，现用中位秩公式计算

$$p(x_i)=\frac{i-0.3}{n+0.4} \tag{16—3}$$

③在概率纸上描点（x_i，$p(x_i)$），$i=1，2，…，n$。

如果这 n 个点近似在一直线上，可认为样本测定值遵从正态分布，由直线可求出均值 μ 和标准偏差 σ，则所检验样本测定值服从正态分布 N（μ、σ）。

三、χ^2分布类型检验法

χ^2分布类型检验法是假设样本所属总体是正态分布的，据所作的假设求出相应样本的理论频数，并与样本的实际频数进行比较。如果实际频数分布与理论频数分布相符合，说明事先所作的统计假设是正确的，样本所属总体是正态分布。反之，则否定事先所作的样本总体为正态分布的统计假设，样本不呈正态分布。

设对随机变量 x 作 n 次测定，将测定值分置于任意选择的大小不等的间隔 t_1、t_2，…，t_k 内，用 υ_i 表示落在间隔 t_i 内的频数(第 i 组实际样本数)。然后求出观测值落在间隔 t_1，t_2，…，t_k 内的概率 p_1，p_2，…，p_k，并算出理论上预期的频数 $\upsilon'_i=np_i$。这样 χ^2分布的检验统计量为：

$$\chi^2=\sum_{i=1}^{k}\frac{(\upsilon_i-\upsilon'_i)^2}{\upsilon'_i}=\sum_{i=1}^{k}\frac{(\upsilon_i-np_i)^2}{np_i} \qquad (16—4)$$

式中 k 为样本分组组数，可用下式计算

$$k=1.52(n-1)^{2/5} \qquad (16—5)$$

其中 n 为样本容量，当 $n>50$时，χ^2值总是近似地遵从自由度 $f=k-r-1$的 χ^2分布；r 为被估计参数的个数，一般 $r\geqslant2$。在约定的显著性水平 α 下，如果 $\chi^2>\chi^2_{(\alpha,f)}$，认为样本不符合正态分布；如果 $\chi^2<\chi^2_{(\alpha,f)}$，则样本为正态分布。$\chi^2_{(\alpha,f)}$为 χ^2分布的临界值(见表15-6)。

四、夏皮罗-威尔克检验法

夏皮罗-威尔克法检验分布类型的统计量为

$$W=\frac{\left[\sum_{i=1}^{k}C_{(i,n)}(x_{n-i+1}-x_i)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2},\ (i=1,\ 2,\ \cdots,\ n) \qquad (16—6)$$

式中，n 为样本容量，i 是样本值 x_i 从小到大排列的序次；$\bar{x}$ 为 n 个样本值的平均值；k 是与 n 有关的系数，当 n 为偶数时，$k=\frac{n}{2}$；当 n 为奇数时，$k=\frac{1}{2}$ $(n-1)$；$C_{(i,n)}$为夏-威系数，与 n 和 i 有关，见表16-2。

表16-2　夏皮罗-威尔克 $C_{(i,n)}$系数表

i \ n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.7071	0.7071	0.6872	0.6646	0.6431	0.6233	0.6052	0.5888	0.5739
2	—	0.0000	0.1677	0.2413	0.2806	0.3031	0.3164	0.3244	0.3291
3	—	—	—	0.0000	0.0875	0.1401	0.1743	0.1976	0.2141
4	—	—	—	—	—	0.0000	0.0561	0.0947	0.1224
5	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0399

i \ n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.5601	0.5475	0.5359	0.5251	0.5150	0.5056	0.4968	0.4886	0.4808	0.4734
2	0.3315	0.3325	0.3325	0.3318	0.3306	0.3290	0.3273	0.3253	0.3232	0.3211
3	0.2260	0.2347	0.2412	0.2460	0.2495	0.2521	0.2540	0.2553	0.2561	0.2565
4	0.1429	0.1586	0.1707	0.1802	0.1878	0.1939	0.1988	0.2027	0.2059	0.2085
5	0.0695	0.0922	0.1099	0.1240	0.1353	0.1447	0.1524	0.1587	0.1641	0.1686
6	0.0000	0.0303	0.0539	0.0727	0.0880	0.1005	0.1109	0.1197	0.1271	0.1334
7	—	—	0.0000	0.0240	0.0433	0.0593	0.0725	0.0837	0.0932	0.1013
8	—	—	—	—	0.0000	0.0196	0.0359	0.0496	0.0612	0.0711
9	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0163	0.0303	0.0422
10	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0140

续表

i \ n	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0.4643	0.4590	0.4542	0.4493	0.4450	0.4407	0.4366	0.4328	0.4291	0.4254
2	0.3185	0.3156	0.3136	0.3098	0.3069	0.3043	0.3018	0.2992	0.2968	0.2944
3	0.2578	0.2571	0.2563	0.2554	0.2543	0.2533	0.2522	0.2510	0.2499	0.2487
4	0.2119	0.2131	0.2139	0.2145	0.2148	0.2151	0.2152	0.2151	0.2150	0.2148
5	0.1736	0.1764	0.1787	0.1807	0.1822	0.1836	0.1848	0.1857	0.1864	0.1870
6	0.1399	0.1443	0.1480	0.1512	0.1539	0.1563	0.1584	0.1601	0.1616	0.1630
7	0.1092	0.1150	0.1201	0.1245	0.1283	0.1316	0.1346	0.1372	0.1395	0.1415
8	0.0804	0.0878	0.0941	0.0997	0.1046	0.1089	0.1128	0.1162	0.1192	0.1219
9	0.0530	0.0618	0.0696	0.0764	0.0823	0.0876	0.0923	0.0965	0.1002	0.1036
10	0.0263	0.0368	0.0459	0.0539	0.0610	0.0672	0.0728	0.0778	0.0822	0.0862
11	0.0000	0.0122	0.0228	0.0321	0.0403	0.0476	0.0540	0.0598	0.0650	0.0697
12	—	—	0.0000	0.0107	0.0200	0.0284	0.0358	0.0424	0.0483	0.0537
13	—	—	—	—	0.0000	0.0094	0.0178	0.0253	0.0320	0.0381
14	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0084	0.0159	0.0227
15	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0076

i \ n	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	0.4220	0.4188	0.4156	0.4127	0.4096	0.4068	0.4040	0.4015	0.3989	0.3964
2	0.2921	0.2898	0.2876	0.2854	0.2834	0.2813	0.2794	0.2774	0.2755	0.2737
3	0.2475	0.2463	0.2451	0.2439	0.2427	0.2415	0.2403	0.2391	0.2380	0.2368
4	0.2145	0.2141	0.2137	0.2132	0.2127	0.2121	0.2116	0.2110	0.2104	0.2098
5	0.1874	0.1878	0.1880	0.1882	0.1883	0.1883	0.1883	0.1881	0.1880	0.1878
6	0.1641	0.1651	0.1660	0.1667	0.1673	0.1678	0.1683	0.1686	0.1689	0.1691
7	0.1433	0.1449	0.1463	0.1475	0.1487	0.1496	0.1505	0.1513	0.1520	0.1526
8	0.1243	0.1265	0.1284	0.1301	0.1317	0.1331	0.1344	0.1356	0.1366	0.1376
9	0.1066	0.1093	0.1118	0.1140	0.1160	0.1179	0.1196	0.1211	0.1225	0.1237
10	0.0899	0.0931	0.0961	0.0988	0.1013	0.1036	0.1056	0.1075	0.1092	0.1108
11	0.0739	0.0777	0.0812	0.0844	0.0873	0.0900	0.0924	0.0947	0.0967	0.0986
12	0.0585	0.0629	0.0669	0.0706	0.0739	0.0770	0.0798	0.0824	0.0848	0.0870
13	0.0435	0.0485	0.0530	0.0572	0.0610	0.0645	0.0677	0.0706	0.0733	0.0759
14	0.0289	0.0344	0.0395	0.0441	0.0484	0.0523	0.0559	0.0592	0.0622	0.0651
15	0.0144	0.0206	0.0262	0.0314	0.0361	0.0404	0.0444	0.0481	0.0515	0.0546
16	0.0000	0.0068	0.0131	0.0187	0.0239	0.0237	0.0331	0.0372	0.0409	0.0444
17	—	—	0.0000	0.0062	0.0119	0.0172	0.0220	0.0264	0.0305	0.0343
18	—	—	—	—	0.0000	0.0057	0.0110	0.0158	0.0203	0.0244
19	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0053	0.0101	0.0146
20	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0049

i \ n	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0.3940	0.3917	0.3894	0.3872	0.3850	0.3830	0.3808	0.3789	0.3770	0.3751
2	0.2719	0.2701	0.2684	0.2667	0.2651	0.2635	0.2620	0.2604	0.2589	0.2574
3	0.2357	0.2345	0.2334	0.2323	0.2313	0.2302	0.2291	0.2281	0.2271	0.2260
4	0.2091	0.2085	0.2078	0.2072	0.2065	0.2058	0.2052	0.2045	0.2038	0.2032
5	0.1876	0.1874	0.1871	0.1868	0.1865	0.1862	0.1859	0.1855	0.1851	0.1847
6	0.1693	0.1694	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1695	0.1693	0.1692	0.1691
7	0.1531	0.1535	0.1539	0.1542	0.1545	0.1548	0.1550	0.1551	0.1553	0.1554
8	0.1384	0.1392	0.1398	0.1405	0.1410	0.1415	0.1420	0.1423	0.1427	0.1430
9	0.1249	0.1259	0.1269	0.1278	0.1286	0.1293	0.1300	0.1306	0.1312	0.1317
10	0.1123	0.1136	0.1149	0.1160	0.1170	0.1180	0.1189	0.1197	0.1205	0.1212
11	0.1004	0.1020	0.1035	0.1049	0.1062	0.1073	0.1085	0.1095	0.1105	0.1113
12	0.0891	0.0909	0.0927	0.0943	0.0959	0.0972	0.0986	0.0998	0.1010	0.1020
13	0.0782	0.0804	0.0824	0.0842	0.0860	0.0876	0.0892	0.0906	0.0919	0.0932
14	0.0677	0.0701	0.0724	0.0745	0.0765	0.0783	0.0801	0.0817	0.0832	0.0846
15	0.0575	0.0602	0.0628	0.0651	0.0673	0.0694	0.0713	0.0731	0.0748	0.0764
16	0.0476	0.0506	0.0534	0.0560	0.0584	0.0607	0.0628	0.0648	0.0667	0.0685
17	0.0379	0.0411	0.0442	0.0471	0.0497	0.0522	0.0546	0.0568	0.0588	0.0608
18	0.0283	0.0318	0.0352	0.0383	0.0412	0.0439	0.0465	0.0489	0.0511	0.0532
19	0.0188	0.0227	0.0263	0.0296	0.0328	0.0357	0.0385	0.0411	0.0436	0.0459
20	0.0094	0.0136	0.0175	0.0211	0.0245	0.0277	0.0307	0.0335	0.0361	0.0386
21	0.0000	0.0045	0.0087	0.0126	0.0163	0.0197	0.0229	0.0259	0.0288	0.0314
22	—	—	0.0000	0.0042	0.0081	0.0118	0.0153	0.0185	0.0215	0.0244
23	—	—	—	—	0.0000	0.0039	0.0076	0.0111	0.0143	0.0174
24	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0037	0.0071	0.0104
25	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0000	0.0035

式（16—6）中，分母为样本值的偏差平方和，分子为样本值排序后，前后相对应的两个

样本值之差乘上权系数的总和的平方。如果样本来自正态总体分布，样本的分布近似对称，W 值应接近1。如果样本不是来自正态总体，样本的分布是不对称的，则分母变大，W 值小于1，样本分布偏离正态总体越远，不对称性越大，W 值越小。如果约定的显著性水平为 α，计算的 W 值等于或大于相应的 α 和样本容量 n 时的夏皮罗-威尔克临界值 $W_{(\alpha,n)}$，则有（$1-\alpha$）置信度，认为“样本遵从正态分布”的假设是正确的。反之，若 $W<W_{(\alpha,n)}$，则不能接受样本遵从正态分布的统计假设。$W_{(\alpha,n)}$值见表16-3。

表16-3　W 检验临界值 $W_{(\alpha,n)}$

（n=3，4，……，50）

α 为显著性水平

n \ α	1%	2%	5%	10%	50%	n \ α	1%	2%	5%	10%	50%
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	27	0.894	0.906	0.923	0.935	0.965
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	28	0.896	0.908	0.924	0.936	0.966
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	29	0.898	0.910	0.926	0.937	0.966
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	30	0.900	0.912	0.927	0.939	0.967
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	31	0.902	0.914	0.929	0.940	0.967
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	32	0.904	0.915	0.930	0.941	0.968
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	33	0.906	0.917	0.931	0.942	0.968
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	34	0.908	0.919	0.933	0.943	0.969
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	35	0.910	0.920	0.934	0.944	0.969
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	36	0.912	0.922	0.935	0.945	0.970
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	37	0.914	0.924	0.936	0.946	0.970
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	38	0.916	0.925	0.938	0.947	0.971
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	39	0.917	0.927	0.939	0.948	0.971
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	40	0.919	0.928	0.940	0.949	0.972
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	41	0.920	0.929	0.941	0.950	0.972
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	42	0.922	0.930	0.942	0.951	0.972
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957	43	0.923	0.932	0.943	0.951	0.973
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959	44	0.924	0.933	0.944	0.952	0.973
21	0.873	0.888	0.908	0.923	0.960	45	0.926	0.934	0.945	0.953	0.973
22	0.878	0.892	0.911	0.926	0.961	46	0.927	0.935	0.945	0.953	0.974
23	0.881	0.895	0.914	0.928	0.962	47	0.928	0.936	0.946	0.954	0.974
24	0.884	0.898	0.916	0.930	0.963	48	0.929	0.937	0.947	0.954	0.974
25	0.888	0.901	0.918	0.931	0.964	49	0.929	0.937	0.947	0.955	0.974
26	0.891	0.904	0.920	0.933	0.965	50	0.930	0.938	0.947	0.955	0.974

五、偏度-峰度检验法

正态分布函数是以平均值为中心，左右两侧对称的一条曲线，曲线的高度和宽度受平均值和标准偏差制约。若用 C_s 和 C_e 分别代表正态分布函数的偏度和峰度，它们的数值可用式（16—7a）和（16—7b）计算。

$$C_s=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^3}{s^3} \tag{16—7a}$$

$$C_e=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^4}{s^4} \tag{16—7b}$$

式中　n 为样本容量，x_i 为第 i 个样本值，$\bar{x}$ 和 s 为其平均值和标准偏差。从理论上讲，正态分

布曲线的 $C_s=0$，$C_e=3$。如果样本为非正态分布，则曲线分布不对称，即 $C_s \neq 0$（$C_s<0$，曲线左偏；$C_s>0$，曲线右偏），或峰的高度过高或过低，C_e 值偏离了。统计学上，C_s 和 C_e 偏离理论值的程度，用偏度-峰度检验的临界值作为判断的依据。判断准则：若 $|C_s|<C_s(\alpha, n)$ 且 $C_e(\alpha_{下}, n)<C_e<C_e(\alpha_{上}, n)$，认为样本服从正态分布。若 $|C_s|>C_s(\alpha, n)$ 或 $C_e>C_e(\alpha_{上}, n)$ 或 $C_e<C_e(\alpha_{下}, n)$，则认为样本为非正态分布。其中，$C_s(\alpha, n)$ 是在显著性水平为 α 和样本容量为 n 时的偏度临界值，$C_e(\alpha_{上}, n)$ 和 $C_e(\alpha_{下}, n)$ 分别为峰度的上，下两个临界值，其值从表16-4查得。

表16-4　偏度-峰度检验的分位数表

n \ α	偏度		峰度			
	0.05	0.01	0.05		0.01	
			下限	上限	下限	上限
8	0.99	1.42	2.80	3.70	1.47	4.53
9	0.97	1.41	2.14	3.86	1.18	4.82
10	0.95	1.39	2.05	3.95	1.00	5.00
12	0.91	1.34	1.95	4.05	0.80	5.20
15	0.85	1.26	1.87	4.13	0.68	5.32
20	0.77	1.15	1.83	4.17	0.64	5.36
25	0.71	1.06	1.84	4.16	0.70	5.30
30	0.66	0.98	1.89	4.11	0.79	5.21
35	0.62	0.92	1.90	4.10	0.87	5.13
40	0.59	0.87	1.94	4.06	0.96	5.04
45	0.56	0.82	2.00	4.00	1.06	4.94
50	0.53	0.79	2.01	3.99	1.12	4.88
60	0.49	0.72	2.06	3.94	1.22	4.78
70	0.46	0.67	2.11	3.89	1.32	4.68
80	0.43	0.63	2.15	3.85	1.42	4.58
90	0.41	0.60	2.19	3.81	1.52	4.48
100	0.39	0.57	2.23	3.77	1.61	4.39

第二节　离群值的检验

检验离群值的方法是假定被检验的一组测定值是来自同一正态总体，给定一个合理的显著性水平 α，根据 α 和样本容量 n 确定一个误差限度，即相应的统计检验的临界值。因此，凡是检验离群值的实验统计量超过临界值，就有 $(1-\alpha)$ 的置信度认为它不属于随机误差的范围，此数据应予舍去。其方法有：

一、3倍标准偏差准则

在一组测定值中，按大小排序为 $x_1 \leqslant x_2 \leqslant, \cdots, \leqslant x_n$，如果 x_1 或 x_n 与测定的平均值 $\overline{x}$ 之差的绝对值大于3倍标准偏差，即

$$|x_1-\overline{x}|>3s \text{ 或 } |x_n-\overline{x}|>3s \qquad (16-8)$$

则认为 x_1 或 x_n 为异常值，应从测定数据中舍去，反之，则不能舍去。式（16-8）中 s 为标准偏差。当采用较严格的检验时，可用2倍标准偏差。此方法适用于大样本测定。

二、狄克松检验法

群离值的狄克松（Dixon）检验法的步骤为：

（1）将样本值按大小顺序排列 $x_1 \leqslant x_2 \leqslant$，$\cdots \leqslant x_n$。设 x_1 或 x_n 可能是离群值。

（2）计算离群值与最邻近数据的差值，除以全组数据的极差，其商为 D 值。

$$D=\frac{x_2-x_1}{x_n-x_1} \text{或} D=\frac{x_n-x_{n-1}}{x_n-x_1} \tag{16—9}$$

（3）判断，如果计算的 D 值大小或等于 D 临界值（见表16-5），应舍去，反之，应保留此数据。

表16-5　狄克松检验法的临界值表（单侧）

n	统　计　量	α			
		0.10	0.05	0.01	0.005
3	$D_{10}=\frac{x_n-x_{(n-1)}}{x_n-x_1}$ 或 $D_{10}=\frac{x_2-x_1}{x_n-x_1}$	0.886	0.941	0.988	0.994
4		0.679	0.765	0.889	0.926
5		0.557	0.642	0.780	0.821
6		0.482	0.560	0.698	0.740
7		0.434	0.507	0.637	0.680
8	$D_{11}=\frac{x_n-x_{(n-1)}}{x_n-x_2}$ 或 $D_{11}=\frac{x_2-x_1}{x_{(n-1)}-x_1}$	0.479	0.554	0.683	0.725
9		0.441	0.512	0.635	0.677
10		0.409	0.477	0.597	0.639
11	$D_{21}=\frac{x_n-x_{(n-2)}}{x_n-x_2}$ 或 $D_{21}=\frac{x_3-x_1}{x_{(n-1)}-x_1}$	0.517	0.576	0.679	0.713
12		0.490	0.546	0.642	0.675
13		0.467	0.521	0.615	0.649
14	$D_{22}=\frac{x_n-x_{(n-2)}}{x_n-x_3}$ 或 $D_{22}=\frac{x_3-x_1}{x_{(n-2)}-x_1}$	0.492	0.546	0.641	0.674
15		0.472	0.525	0.616	0.647
16		0.454	0.507	0.595	0.624
17		0.438	0.490	0.577	0.605
18		0.424	0.475	0.561	0.589
19		0.412	0.462	0.547	0.575
20		0.401	0.450	0.535	0.562
21		0.391	0.440	0.524	0.551
22		0.382	0.430	0.514	0.541
23		0.374	0.421	0.505	0.532
24		0.367	0.413	0.497	0.524
25		0.360	0.406	0.489	0.516
26		0.354	0.399	0.486	0.508
27		0.348	0.393	0.475	0.501
28		0.342	0.387	0.469	0.495
29		0.337	0.381	0.463	0.489
30		0.332	0.376	0.457	0.483

三、格鲁布斯检验法

格鲁布斯检验离群值时采用统计量为：

$$G=\frac{|x_d-\bar{x}|}{s} \tag{16—10}$$

公式（16—10）中 x_d 表示可能的离群值；$\bar{x}$ 为所有被检验数据的平均值；s 为其标准偏差。或用统计量 γ 进行检验。

$$\gamma=\frac{|x_d-\bar{x}|}{s\sqrt{\frac{n-1}{n}}} \tag{16—11}$$

式中符号与式（16—10）的符号具有相同意义，n 表示样本容量。由（16－10）和（16－11）式计算的 G 和 γ 值，如分别大于各自的相应显著性水平 α 和测定次数 n 时的临界值 $G_{\alpha,n}$ 和 $\gamma_{\alpha,n}$，

则将 x_d 作为异常值舍去。$G_{\alpha,n}$，$\gamma_{\alpha,n}$见表16-6和表16-7。

表16-6　格鲁布斯检验临界值 $G_{\alpha,n}$ 表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
3	1.15	1.15	12	2.55	2.29	21	2.91	2.58
4	1.49	1.46	13	2.61	2.33	22	2.94	2.60
5	1.75	1.67	14	2.66	2.37	23	2.96	2.62
6	1.94	1.82	15	2.70	2.41	24	2.99	2.64
7	2.10	1.94	16	2.74	2.44	25	3.01	2.66
8	2.22	2.03	17	2.78	2.47	30	3.10	2.74
9	2.32	2.11	18	2.82	2.50	35	3.18	2.81
10	2.41	2.18	19	2.85	2.53	40	3.24	2.87
11	2.48	2.24	20	2.88	2.56	50	3.34	2.96

表16-7　γ 检验的临界值 $\gamma_{\alpha,n}$ 表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
3	1.414	1.412	10	2.540	2.294	17	2.871	2.551
4	1.732	1.689	11	2.606	2.343	18	2.903	2.577
5	1.955	1.869	12	2.663	2.387	19	2.932	2.600
6	2.130	1.996	13	2.714	2.426	20	2.959	2.623
7	2.265	2.093	14	2.759	2.461	21	2.984	2.644
8	2.374	2.172	15	2.800	2.493	22	3.008	2.664
9	2.464	2.237	16	2.837	2.523	23	3.030	2.683

四、t 检验法

t 检验法的统计量

$$t_k=\frac{|x_d-\overline{x}|}{s} \tag{16—12}$$

式中 x_d 为离群值，$\overline{x}$ 和 s 为不包括离群值在内的（$n-1$）个测定值的平均值和标准偏差。由（16—12）式计算的 t_k 值大于表16-8中一定显著性水平 α 与测定次数 n 时的临界值 $t_{\alpha,n}$时，应将 x_d 作为异常值舍去，反之，x_d 应保留。

表16-8　t 检验的临界值 $T_{\alpha,n}$表

n	α		n	α		n	α	
	0.01	0.05		0.01	0.05		0.01	0.05
4	11.46	4.97	13	3.23	2.29	22	2.91	2.14
5	6.53	3.56	14	3.17	2.26	23	2.90	2.13
6	5.04	3.04	15	3.12	2.24	24	2.88	2.12
7	4.36	2.78	16	3.08	2.22	25	2.86	2.11
8	3.96	2.62	17	3.04	2.20	26	2.85	2.10
9	3.71	2.51	18	3.01	2.18	27	2.84	2.10
10	3.54	2.43	19	2.98	2.17	28	2.83	2.09
11	3.41	2.37	20	2.95	2.16	29	2.82	2.09
12	3.31	2.33	21	2.93	2.15	30	2.81	2.08

五、t_R 极差检验法

用极差检验离群值。所用统计量是：

$$t_R=\frac{|x_d-\overline{x}|}{R} \tag{16—13}$$

式中 R 为极差。由(16—13)式计算的 t_R 值大于表16-10中给定的显著性水平 α 和测定次数 n 时的临界值，则可把 x_d 作为异常值舍去。反之则保留此值。

表16-9　t_R 临界值表（α=0.05）

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
t_R	1.53	1.05	0.86	0.76	0.69	0.64	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.46

六、实验室间离群值的检验

若有 m 个实验室对同一试样进行测定，得到 m 个平均值：$\bar{x}_1 \leqslant \bar{x}_2 \leqslant \cdots \leqslant \bar{x}_m$，检验 $\bar{x}_1$ 或 $\bar{x}_m$ 是否是离群值，其统计量

$$T_1' = \frac{\bar{x} - \bar{x}_1}{\bar{s}_{\bar{x}}} \quad 或 \quad T_n' = \frac{\bar{x}_m - \bar{x}}{\bar{s}_{\bar{x}}} \tag{16—14}$$

式中 $\bar{s}$ 为实验室间测定平均值的标准偏差。若测定次数 n 相同时，实验室间单次测定的标准偏差为

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \tag{16—15a}$$

若测定次数不相同（$n_1 \neq n_2 \neq \cdots \neq n_m$）时，则

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} (n_i - 1)\ s_i^2}{\sum_{i=1}^{m} n_i - m}} \tag{16—15b}$$

式中 s_i 为第 i 实验室单次测定的标准偏差。实验室间平均值测定的标准偏差为

$$\bar{s}_{\bar{x}} = \frac{\bar{s}}{\sqrt{m}} \tag{16—16}$$

当由（16—14）式计算的 T' 大于表16-10中相应显著性水平 α 和 m 下的临界值时，则表明被检验的 $\bar{x}_1$ 或 $\bar{x}_m$ 与其的实验室平均值之间有显著性差异，应将它舍去。反之，则应保留。

表16-10　实验室间离群值检验临界值表

f	被检验的测定值的数目 m									被检验的测定值的数目 m								
	α=0.01									α=0.05								
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8	9	10	12
10	2.78	3.10	3.32	3.48	3.62	3.73	3.82	3.90	4.04	2.01	2.27	2.46	2.60	2.72	2.81	2.89	2.96	3.08
11	2.72	3.02	3.24	3.39	3.52	3.63	3.72	3.79	3.93	1.98	2.24	2.42	2.56	2.67	2.76	2.84	2.91	3.03
12	2.67	2.96	3.17	3.32	3.45	3.55	3.64	3.71	3.84	1.96	2.21	2.39	2.52	2.63	2.72	2.80	2.87	2.98
13	2.63	2.92	3.12	3.27	3.38	3.48	3.57	3.64	3.76	1.94	2.19	2.36	2.50	2.60	2.69	2.76	2.83	2.94
14	2.60	2.88	3.07	3.22	3.33	3.43	3.51	3.58	3.70	1.93	2.17	2.34	2.47	2.57	2.66	2.74	2.80	2.91
15	2.57	2.84	3.03	3.17	3.29	3.38	3.46	3.53	3.65	1.91	2.15	2.32	2.45	2.55	2.64	2.71	2.77	2.88
16	2.54	2.81	3.00	3.14	3.25	3.34	3.42	3.49	3.60	1.90	2.14	2.31	2.43	2.53	2.62	2.69	2.75	2.86
17	2.52	2.79	2.97	3.11	3.22	3.31	3.38	3.45	3.56	1.89	2.13	2.29	2.42	2.52	2.60	2.67	2.73	2.84
18	2.50	2.77	2.95	3.08	3.19	3.28	3.35	3.42	3.53	1.88	2.11	2.28	2.40	2.50	2.58	2.65	2.71	2.82
19	2.49	2.75	2.93	3.06	3.16	3.25	3.33	3.39	3.50	1.87	2.11	2.27	2.39	2.49	2.57	2.64	2.70	2.80
20	2.47	2.73	2.91	3.04	3.14	3.23	3.30	3.37	3.47	1.87	2.10	2.26	2.38	2.47	2.56	2.63	2.68	2.78
24	2.42	2.68	2.84	2.97	3.07	3.16	3.23	3.29	3.38	1.84	2.07	2.23	2.34	2.44	2.52	2.58	2.64	2.74

续表

f	被检验的测定值的数目 m									被检验的测定值的数目 m								
	α=0.01									α=0.05								
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8	9	10	12
30	2.38	2.62	2.79	2.91	3.01	3.08	3.15	3.21	3.30	1.82	2.04	2.20	2.31	2.40	2.48	2.54	2.60	2.69
40	2.34	2.57	2.73	2.85	2.94	3.02	3.08	3.13	3.22	1.80	2.02	2.17	2.28	2.37	2.44	2.50	2.56	2.65
60	2.29	2.52	2.68	2.79	2.88	2.95	3.01	3.06	3.15	1.78	1.99	2.14	2.25	2.33	2.41	2.47	2.52	2.61
120	2.25	2.48	2.62	2.73	2.82	2.89	2.95	3.00	3.08	1.76	1.96	2.11	2.22	2.30	2.37	2.43	2.48	2.57
∞	2.22	2.43	2.57	2.68	2.76	2.83	2.88	2.93	3.01	1.74	1.94	2.08	2.18	2.27	2.33	2.39	2.44	2.52

第三节　均值的检验

一、u 检验法

u 检验是在总体方差（σ^2）已知条件下，检验平均值的方法，其步骤：

（1）提出待检验的假设　H_0：$\hat{\mu}=\mu$。

（2）根据样本值 x_1，x_2，…x_n 及已知 σ 计算统计量 u，

$$u=\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}} \tag{16—17}$$

（3）由给定的 α（或$1-\alpha$）查正态分布数值表15-4得 u_α 临界值。

（4）比较由（16-17）式计算的 u 值及 u_α 临界值，如果

$|u|>u_\alpha$，拒绝原假设 H_0；

$|u|<u_\alpha$，接受原假设 H_0。

（5）根据检验结果做出结论，并对结论进行解释和说明。

二、t 检验法

大样本测定中，通常情况下遵从正态分布 N（μ，σ^2），其中 μ 为总体均值，σ 为总体的标准偏差，直接可用 u 检验。而化学分析一般只进行少数 n 次测定，是小样本试验。不能求得总体均值 μ 和总体标准偏差 σ，只能得到样本均值 $\bar{x}$ 和样本标准偏差 s。所以只能用统计量 t 来检验。

$$t=\frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}} \tag{16—18}$$

t 检验程序为

（1）提出检验假设，H_0：$\bar{x}=\mu$。

（2）根据样本值 x_1，x_2，…，x_n 计算统计量 t。

（3）根据给定的显著性水平 α 和测定次数 n，查 t 分布表15-6，得 $t_{\alpha,f}$临界值。

（4）比较计算的 t 值与 $t_{\alpha,f}$临界值，如果

$|t|>t_{\alpha,f}$，有显著性差异；拒绝原假设 H_0；

$|t|>t_{\alpha,f}$，无显著性差异；接受原假设 H_0。

（5）根据检验结果做出结论，并做出合理的解释。

1.一个平均值的检验　这实际上是用标准试样法检验样本的平均值。把标样的名义值作为真值（μ），对要鉴定的某个新的分析方法，用标样进行 n 次测定，从样本值计算得 $\bar{x}$，s^2。

现在的任务是确定 $\bar{x}$ 和 μ 是否一致，即提出检验假设 H_0：$\bar{x}=\mu$。按照 t 检验法进行。如果样本是由同一总体抽取的，分析方法又不存在系统误差，则 $|t|<t_{\alpha,f}$，即在约定的显著性水平 α 和测定次数 n 下应无显著性差异。反之，$|t|>t_{\alpha,f}$，即样本的平均值与标样的名义之间存在着显著性差异，则新的分析方法有系统误差。

2. 两种方法互相检验　又称两个均值的比较，它使用的统计量为

$$t=\frac{|\bar{x}_1-\bar{x}_2|}{\sqrt{\dfrac{s_1^2+s_2^2}{n}}} \tag{16—19a}$$

式中 $\bar{x}_1$和 $\bar{x}_2$分别为方法1和方法2的测定值的平均值；s_1和 s_2为其标准偏差；n 为其样本容量，这里 $n_1=n_2=n$。也可使用两个样本合并后的方差，则：

$$t=\frac{|\bar{x}_1-\bar{x}_2|}{\sqrt{\bar{s}^2\left(\dfrac{1}{n_1}+\dfrac{1}{n_2}\right)}} \tag{16—19b}$$

式中 $\bar{s}^2$为两个样本的合并方差

$$\bar{s}^2=\frac{(n_1-1)\ s_1^2+\ (n_2-1)\ s_2{}^2}{n_1+n_2-2} \tag{16—20}$$

并按 t 检验法进行检验。若 $t>t_{\alpha,f}$，两个测定值的平均值有显著性差异，反之，认为两个平均值无显著性差异。临界值 $t_{\alpha,f}$中 α 为显著性水平；f 为自由度，这里 $f=n_1+n_2-2$。$t_{\alpha,f}$值可从表15-6查得。

3. 成对比较试验数据的检验　成对试验 t 检验法所用统计量是

$$t=\frac{|\bar{d}-d_0|}{\sqrt{s_d^2/n}} \tag{16—21}$$

式中 $\bar{d}$ 为每种试样在两种方法测定值之差 d_i 的平均值

$$\bar{d}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}d_i\ (i=1,\ 2,\ \cdots,\ n)$$

n 为试样数，当 $n\to\infty$时，$\bar{d}\to 0$，d_0为成对数据差值的期望值，$d_0=0$。s_d 为成对测定值之差的标准偏差

$$s_d=\sqrt{\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}\ (d_i-\bar{d})^2\right]} \tag{16—22}$$

在有限次测定中，两种方法，两个实验室或两个分析人员测定值是否存在显著性差异，通过比较（16—19）式中计算的统计量 t 与相应的 $t_{\alpha,f}$临界值，即可做出判断。若 $t>t_{\alpha,f}$，则有显著性差异，反之，测定值之间无显著性差异。$t_{\alpha,f}$值从表15-6中查得。

第四节　方差的检验

一、一个总体方差的检验

一个总体方差的检验采用统计量

$$\chi^2=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}\ (x_i-\bar{x})^2}{\sigma^2}=\frac{1}{\sigma^2}\ (n-1)\ s^2 \tag{16—23}$$

式中s^2是样本方差，σ^2是总体方差，统计量χ^2的大小反映了样本方差s^2与总体方差σ^2的差异程度，在约定的显著性水平α和自由度下，若$\chi^2>\chi^2_{(1-\alpha/2,f)}$或$\chi^2>\chi^2_{(\alpha/2,f)}$，则说明样本方差与总体方差有显著性差异，反之，样本方差和总体方差是一致的。临界值$\chi^2_{(1-\alpha/2,f)}$和$\chi_{(\alpha/2,f)}$查χ^2分布表15-7。

二、两个总体方差的检验

两个总体方差的检验即F检验，它的统计量是

$$F(f_1, f_2)=\frac{s_1^2}{s_2^2} \qquad (16-24)$$

式中s_1^2和s_2^2分别是样本1和样本2的方差，通常把数值大的作为分子，数值小的作为分母。f_1和f_2分别为计算$s_1{}^2$和$s_2{}^2$的自由度，$f_1=n_1-1$，$f_2=n_2-1$。

F检验的步骤：

①提出假设检验H_0：$\sigma_1^2=\sigma_2^2$或$\sigma_1^2\leqslant\sigma_2^2$

②由样本值x_1，x_2，…，x_{n_1}，y_1，y_2，…，y_{n_2}，计算

$$F=\frac{s_1^2}{s_2^2}=\frac{\sum_{i=1}^{n_1}(x_i-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n_2}(y_i-\bar{y})^2}\cdot\frac{(n_2-1)}{(n_1-1)} \quad (i=1,2,\cdots,n_1(\text{或 } n_2)) \qquad (16-25)$$

③由给定的显著性水平α及f_1、f_2，查F分布表（表15-8），得$F_{(\alpha,f_1,f_2)}$（或$F_{\alpha/2(f_1,f_2)_1}$，$F_{\alpha/2(f_1,f_2)_2}$）

④将计算的F值与$F_{(\alpha,f_1,f_2)}$值比较，若

$F\geqslant F_{(\alpha,f_1,f_2)}$，显著性差异，拒绝原假设$H_0$

$F\leqslant F_{(\alpha,f_1,f_2)}$，无显著性差异，接受原假设$H_0$

⑤根据检验结果做出结论，并对结论提出解释。

当H_0：$\sigma_1{}^2=\sigma^2$时，为双侧检验。

三、多个方差的检验

当有两个以上方差需要检验时，可用F检验法检验一组方差中最大方差与最小方差。如果两者没有显著性差异，则介于这二者之间的那些方差也可以认为无显著性差异，因此整组方差可认为同属于一个总体。如果两者有显著性差异，则需要进行两两比较，或直接用巴特莱（Bartrett）法、柯奇拉（Cochran）法和哈特利（Hartley）法。

（一）巴特莱法

设有m个总体（$m\geqslant3$），均遵从正态分布N（μ，σ^2），由m个总体中分别独立地抽取样本容量为n_1、n_2，…，n_m的子样，各样本方差分别为s_1^2，s_2^2，…，s_m^2，这时要检验的原假设H_0：$\sigma_1^2=\sigma_2^2=\cdots=\sigma_m{}^2$。其统计量

$$B=\frac{2.303}{C}(f\lg\bar{s}^2-\sum_{i=1}^{m}f_i\lg s_i^2) \quad (i=1,2,\cdots m) \qquad (16-26)$$

式中 $C=1+\frac{1}{3(m-1)}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{f_i}-\frac{1}{f}\right)$

$\bar{s}^2=\frac{1}{f}\sum_{i=1}^{m}f_i s_i^2$

$$f=\sum_{i=1}^{m} f_i$$

$$f_i = n_i - 1$$

$\bar{s}^2$为平均加权方差，n_i 和 s_i 为第 i 个样本的容量和方差。当各样本的容量相等时，即 $f_1=f_2=\cdots=f_m=f_0$时，(16—23)式简化为

$$B=\frac{2.303}{C} m f_0\left(\lg \bar{s}^2-\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \lg s_i{}^2\right) \tag{16—27}$$

式中 $C=1+\frac{m+1}{3mf_0}$

在给定的显著性水平 α 和自由度（$m-1$）下，如果 $B>\chi_{(\alpha,m-1)}$，则最大方差的样本与其他样本的方差有显著性差异，反之，各样本的方差无显著性差异。临界值 $\chi^2_{(\alpha,m-1)}$可从表15-6查得。

（二）柯奇拉检验法

当各样本值测定次数相同时，即 $n_1=n_2=\cdots=n_m$，可用柯奇拉法或哈特利法代替巴特莱法，使检验更为简便。柯奇拉检验法使用的统计量是

$$G_{\max}=\frac{s^2_{\max}}{s_1^2+s_2^2+\cdots+s_m^2} \tag{16—28}$$

式中 $s^2_{\max}$是被检验的 m 个方差中最大的方差，n 为样本容量，自由度 $f=n-1$。

哈特利检验法使用的统计量为

$$F_{\max}=\frac{s^2_{\max}}{s^2_{\min}} \tag{16—29}$$

检验步骤可参照 F 检验程序进行。$G_{(\alpha,f)}$和 $F_{(\alpha,f)}$临界值表分别为表16-11和表16-12。

表16-11 Cochran 法（最大方差法）比较多个方差时的 G 临界值

k \ f	显著性水平 α=0.05													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	0.9985	0.9750	0.9392	0.9057	0.8772	0.8534	0.8332	0.8159	0.8010	0.7880	0.7341	0.6602	0.5813	0.5000
3	0.9669	0.8709	0.7977	0.7457	0.7071	0.6771	0.6530	0.6333	0.6167	0.6025	0.5466	0.4748	0.4031	0.3333
4	0.9065	0.7679	0.6841	0.6287	0.5895	0.5598	0.5365	0.5175	0.5017	0.4884	0.4366	0.3720	0.3093	0.2500
5	0.8412	0.6838	0.5981	0.5441	0.5065	0.4783	0.4564	0.4387	0.4241	0.4118	0.3645	0.3066	0.2513	0.2000
6	0.7808	0.6161	0.5321	0.4803	0.4447	0.4184	0.3980	0.3817	0.3682	0.3568	0.3135	0.2612	0.2119	0.1667
7	0.7271	0.5612	0.4800	0.4307	0.3974	0.3726	0.3535	0.3384	0.3259	0.3154	0.2756	0.2278	0.1833	0.1429
8	0.6798	0.5157	0.4377	0.3910	0.3595	0.3362	0.3185	0.3043	0.2926	0.2829	0.2462	0.2022	0.1616	0.1250
9	0.6385	0.4775	0.4027	0.3584	0.3286	0.3067	0.2901	0.2768	0.2659	0.2568	0.2226	0.1820	0.1446	0.1111
10	0.6020	0.4450	0.3733	0.3311	0.3029	0.2823	0.2666	0.2541	0.2439	0.2353	0.2032	0.1655	0.1308	0.1000
12	0.5410	0.3924	0.3264	0.2880	0.2624	0.2439	0.2299	0.2187	0.2098	0.2020	0.1737	0.1403	0.1100	0.0833
15	0.4709	0.3346	0.2758	0.2419	0.2195	0.2034	0.1911	0.1815	0.1736	0.1671	0.1429	0.1144	0.0889	0.0667
20	0.3894	0.2705	0.2205	0.1921	0.1735	0.1602	0.1501	0.1422	0.1357	0.1303	0.1108	0.0879	0.0675	0.0500
24	0.3434	0.2354	0.1907	0.1656	0.1493	0.1374	0.1286	0.1216	0.1160	0.1113	0.0942	0.0743	0.0567	0.0417
30	0.2929	0.1980	0.1593	0.1377	0.1237	0.1137	0.1061	0.1002	0.0958	0.0921	0.0771	0.0604	0.0457	0.0333
40	0.2370	0.1576	0.1259	0.1082	0.0968	0.0887	0.0827	0.0780	0.0745	0.0713	0.0595	0.0462	0.0347	0.0250
60	0.1737	0.1131	0.0895	0.0765	0.0682	0.0623	0.0583	0.0552	0.0520	0.0497	0.0411	0.0316	0.0234	0.0167
120	0.0998	0.0632	0.0495	0.0419	0.0371	0.0337	0.0312	0.0292	0.0279	0.0266	0.0218	0.0165	0.0120	0.0083
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
k \ f	显著性水平 α=0.01													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
2	0.9999	0.9950	0.9794	0.9586	0.9373	0.9172	0.8998	0.8823	0.8674	0.8539	0.7949	0.7067	0.6062	0.5000
3	0.9933	0.9423	0.8831	0.8335	0.7933	0.7606	0.7335	0.7107	0.6912	0.6743	0.6059	0.5153	0.4230	0.3333

续表

k \ f	显著性水平 α=0.01													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	∞
4	0.9676	0.8643	0.7814	0.7112	0.6761	0.6410	0.6129	0.5897	0.5702	0.5536	0.4884	0.4057	0.3251	0.2500
5	0.9279	0.7885	0.6957	0.6329	0.5875	0.5531	0.5259	0.5037	0.4854	0.4697	0.4094	0.3351	0.2644	0.2000
6	0.8828	0.7218	0.6258	0.5635	0.5195	0.4866	0.4608	0.4401	0.4229	0.4084	0.3529	0.2858	0.2229	0.1667
7	0.8376	0.6644	0.5685	0.5080	0.4659	0.4347	0.4105	0.3911	0.3751	0.3616	0.3105	0.2494	0.1929	0.1429
8	0.7945	0.6152	0.5209	0.4627	0.4226	0.3932	0.3704	0.3522	0.3373	0.3248	0.2779	0.2214	0.1700	0.1250
9	0.7544	0.5727	0.4810	0.4251	0.3870	0.3592	0.3378	0.3207	0.3067	0.2950	0.2514	0.1992	0.1521	0.1111
10	0.7175	0.5358	0.4469	0.3934	0.3572	0.3308	0.3106	0.2945	0.2813	0.2704	0.2297	0.1811	0.1376	0.1000
12	0.6528	0.4751	0.3919	0.3428	0.3099	0.2861	0.2680	0.2535	0.2419	0.2320	0.1961	0.1535	0.1157	0.0833
15	0.5747	0.4069	0.3317	0.2882	0.2593	0.2386	0.2228	0.2104	0.2002	0.1918	0.1612	0.1251	0.0934	0.0667
20	0.4799	0.3297	0.2654	0.2288	0.2048	0.1877	0.1748	0.1646	0.1567	0.1501	0.1248	0.0960	0.0709	0.0500
24	0.4247	0.2871	0.2295	0.1970	0.1759	0.1608	0.1495	0.1406	0.1338	0.1283	0.1060	0.0810	0.0595	0.0417
30	0.3632	0.2412	0.1913	0.1635	0.1454	0.1327	0.1232	0.1157	0.1100	0.1054	0.0867	0.0658	0.0480	0.0333
40	0.2940	0.1915	0.1508	0.1281	0.1135	0.1033	0.0957	0.0898	0.0853	0.0816	0.0668	0.0503	0.0363	0.0250
60	0.2151	0.1371	0.1069	0.0902	0.0796	0.0722	0.0668	0.0625	0.0594	0.0567	0.0461	0.0344	0.0245	0.0167
120	0.1225	0.0759	0.0585	0.0489	0.0429	0.0387	0.0357	0.0334	0.0316	0.0302	0.0242	0.0178	0.0125	0.0083
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表16-12　哈特利检验临界值 $F_{\alpha(m,f)}$ 表

f \ m	显著性水平 α=0.05										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	9.60	15.5	20.6	25.2	29.5	33.6	37.5	41.1	44.6	48.0	51.4
5	7.15	10.8	13.7	16.3	18.7	20.8	22.9	24.7	26.5	28.2	29.9
6	5.82	8.38	10.4	12.1	13.7	15.0	16.3	17.5	18.6	19.7	20.7
7	4.99	6.94	8.44	9.70	10.8	11.8	12.7	13.5	14.3	15.1	15.8
8	4.43	6.00	7.18	8.12	9.09	9.78	10.5	11.1	11.7	12.2	12.7
9	4.03	5.34	6.31	7.11	7.80	8.41	8.95	9.45	9.91	10.3	10.7
10	3.72	4.85	5.67	6.34	6.92	7.42	7.87	8.28	8.66	9.01	9.34
12	3.28	4.16	4.79	5.30	5.72	6.09	6.42	6.72	7.00	7.25	7.48
15	2.86	3.54	4.01	4.37	4.68	4.95	5.19	5.40	5.59	5.77	5.93
20	2.46	2.95	3.29	3.54	3.76	3.94	4.10	4.24	4.37	4.49	4.59
30	2.07	2.40	2.61	2.78	2.91	3.02	3.12	3.21	3.29	3.36	3.39
60	1.67	1.85	1.96	2.04	2.11	2.17	2.22	2.26	2.30	2.33	2.36
f \ m	**显著性水平 α=0.01**										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	23.2	37	49	59	69	79	89	97	106	113	120
5	14.9	22	28	33	38	42	46	50	54	57	60
6	11.1	15.5	19.1	22	25	27	30	32	34	36	37
7	8.98	12.1	14.5	16.5	18.4	20	22	23	24	26	27
8	7.50	9.9	11.7	13.2	14.5	15.8	16.9	17.9	18.9	19.8	21
9	6.54	8.5	9.9	11.1	12.1	13.1	13.9	14.7	15.3	16.0	16.6
10	5.85	7.4	8.6	9.6	10.4	11.1	11.8	12.4	12.9	13.4	13.9
12	4.91	6.1	6.9	7.6	8.2	8.7	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6
15	4.07	4.9	5.5	6.0	6.4	6.7	7.1	7.3	7.5	7.8	8.0
20	3.32	3.8	4.3	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.6	5.8	5.9
30	2.63	3.0	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2
60	1.96	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7

第十七章　方差分析

方差分析是数理统计的基本方法之一，是根据方差的加和性原理，将试验结果总方差分解为各因素的方差和误差的方差，并用 F 检验法对各因素效应作出科学估计。在方差分析中，把考察的结果称为试验指标，影响试验结果的条件称为因素，因素所处的状态称为水平。在一定的试验条件下的测定值与其平均值之差的平方和称为变差平方和。

第一节　单因素方差分析

若因素 A 有 p 个水平，每个水平进行了 n 次试验，试验安排见表17-1，样本值的各项变差平方和的计算公式是

表17-1　单因素多水平试验安排及其结果

试验次数	因素水平					
	A_1	A_2	…………	A_i	…………	A_p
1	x_{11}	x_{21}	…………	x_{i1}	…………	x_{p1}
2	x_{12}	x_{22}	…………	x_{i2}	…………	x_{p2}
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
j	x_{1j}	x_{2j}	…………	x_{ij}	…………	x_{pj}
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
n	x_{1n}	x_{2n}	…………	x_{in}	…………	x_{pn}

$$Q_T=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17—1)$$

$$Q_A=\sum_{i=1}^{p}n(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{p}\Big(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\Big)^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17—2)$$

$$Q_e=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_i)^2=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{p}\Big(\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17—3)$$

式中 Q_T 为总的变差平方和，Q_A 为因素 A 水平变化引起的变差平方和，Q_e 为试验误差引起的变差平方和。

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n}x_{ij};\quad \bar{x}_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}x_{ij};\quad N=p\times n$$

它们的自由度是

$$f_T=N-1,f_A=p-1,f_e=p(n-1) \qquad (17—4)$$

计算它们的方差估计值

$$s_T^2=\frac{Q_T}{f_T} \qquad (17—5a)$$

$$s_A^2=\frac{Q_A}{f_A} \qquad (17—5b)$$

$$s_e^2=\frac{Q_e}{f_e} \qquad (17—5c)$$

单因素方差分析，方差检验的统计量为　$F=s_A^2/s_e^2$

进行 F 检验，在给定的显著性水平 α 和 f_A，f_e 条件下，若计算 F 值大于 $F_{(\alpha,f_A,f_e)}$ 临界值（查 F 分布表）表示因素水平变化的影响显著，必须严格控制。反之，则因素水平变化对试验结果无显著影响。把以上分析结果列出方差分析表（表17-2）。

表17-2　单因素方差分析表

方差来源	变差平方和	自由度	方差估计值	预期方差	F 值	$F_{(\alpha,f_1,f_2)}$
因素 A 的变化	Q_A	$f_A=p-1$	$s_A^2=Q_A/f_A$	$n\sigma_A^2+\sigma_e^2$	s_A^2/s_e^2	
试验误差	Q_e	$f_e=p(n-1)$	$s_e^2=Q_e/f_e$	σ_e^2		
总和	Q_T	$f_T=N-1$				

以上是单因素多水平等重复试验的方差分析，如果重复的试验次数不相等，即 $n_1\neq n_2\neq\cdots\cdots\neq n_p$ 时，则在计算 Q_A 和 Q_e 时要按实验的 n_i 计算。

$$Q_A=\sum_{i=1}^{p}n_i(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{p}\frac{1}{n_i}\Big(\sum_{j=1}^{n_i}x_{ij}\Big)^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n_i}x_{ij}\Big)^2$$

$$Q_e=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij}-\bar{x}_i)^2=\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{n_i}x_{ij}^2-\sum_{i=1}^{p}\frac{1}{n_i}\Big(\sum_{j=1}^{n_i}x_{ij}\Big)^2$$

式中　$N=\sum_{i=1}^{p}n_i$

$(i=1,2,\cdots,p;j=1,2,\cdots,n_i)$

$\bar{x}_i=\frac{1}{n_i}\sum_{j=1}^{n_i}x_{ij}$

而其预期方差为

$$\left[\frac{\Big(\sum_{i=1}^{p}n_i\Big)^2-\sum_{i=1}^{p}n_i^2}{(p-1)\cdot\sum_{i=1}^{p}n_i}\right]\sigma_A^2+\sigma_e^2 \qquad (17-6)$$

第二节　双因素方差分析

一、无交互效应时的双因素方差分析

今研究因素 A，B 对测定结果的影响，若每个因素都包含多个水平，因素 A 有 l 个水平，因素 B 有 m 个水平，即为双因素多水平试验，全面试验安排表见表17-3。

表17-3　双因素多水平全面试验安排表

因素 A ＼ 因素 B	B_1	B_2	……	B_j	……	B_m
A_1	x_{11}	x_{12}	……	x_{1j}	……	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	……	x_{2j}	……	x_{2m}
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
A_i	x_{i1}	x_{i2}	……	x_{ij}	……	x_{im}
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
A_l	x_{l1}	x_{l2}	……	x_{lj}	……	x_{lm}

双因素方差分析的基本原理与单因素方差分析类同，也是应用变差平方和的加和性原理。即总变差平方和 Q_T，能分解成因素 A 的变差平方和 Q_A 和因素 B 的变差平方和 Q_B 及试验误差平方和 Q_e。

$$Q_T=Q_A+Q_B+Q_e$$

总平方和是全部数据相对于总平均值 $\bar{x}$ 的变差平方和。

$$Q_T=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij}-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17-7)$$

$$Q_A=m\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_{Ai}-\bar{x})^2=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{l}\Big(\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17-8)$$

$$Q_B=l\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_{Bj}-\bar{x})^2=\frac{1}{l}\sum_{j=1}^{m}\Big(\sum_{i=1}^{l}x_{ij}\Big)^2-\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2 \qquad (17-9)$$

$$\begin{aligned}Q_e&=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(x_{ij}-\bar{x}_{Ai}-\bar{x}_{Bj}+\bar{x})^2\\&=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}^2-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{l}\Big(\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2-\frac{1}{l}\sum_{j=1}^{m}\Big(\sum_{i=1}^{l}x_{ij}\Big)^2+\frac{1}{N}\Big(\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\Big)^2\end{aligned} \qquad (17-10)$$

或　$Q_e=Q_T-Q_A-Q_B$

式中　$N=m\cdot l$

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}$$

$$\bar{x}_{Ai}=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}$$

$$\bar{x}_{Bj}=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}x_{ij}$$

各变差平方和相应的自由度为

$$\left.\begin{aligned}&f_T=N-1\\&f_A=l-1;f_B=m-1\\&f_e=(l-1)\cdot(m-1)\end{aligned}\right\} \qquad (17-11)$$

分别计算出相应的方差：

$$s_A^2=\frac{Q_A}{f_A};s_B^2=\frac{Q_B}{f_B};s_e^2=\frac{Q_e}{f_e}$$

进行 F 检验，其统计量为

$$F_{(A)}=\frac{s_A^2}{s_e^2}$$

$$F_{(B)}=\frac{s_B^2}{s_e^2}$$

在给定的显著性水平 α 和 f_A、f_e 及 f_B、f_e 下，如果计算值 F_A 或 F_B 大于临界值 $F_{(\alpha,f_A,f_e)}$ 或 $F_{(\alpha,f_B,f_e)}$，则为有显著性差异。在实验时要严格控制。反之，则无显著性差异，并将结果列成方差分析表17-4。

表17-4　双因素多水平无交互效应的方差分析表

平方和来源	平方和	自由度	方　差	F 值	F 临界值
因素 A	Q_A	$l-1$	$s_A^2=Q_A/f_A$	$F_A=s_A^2/s_e^2$	$F_{(\alpha,f_A,f_e)}$
因素 B	Q_B	$m-1$	$s_B^2=Q_B/f_B$	$F_B=s_B^2/s_e^2$	$F_{(\alpha,f_B,f_e)}$
试验误差	Q_e	$(l-1)\cdot(m-1)$	$s_e^2=Q_e/f_e$		
总和	Q_T	$N-1$			

二、有交互效应时的双因素方差分析

两因素交叉分组全面试验安排如表17-5所示。

表17-5　双因素交叉分组全面试验安排表(等重复试验)

因素 A \ 因素 B	B_1	B_2	……	B_m
A_1	$x_{111}\ x_{112}\cdots\ x_{11n}$	$x_{121}\ x_{122}\cdots\ x_{12n}$		$x_{1m1}\ x_{1m2}\cdots\ x_{1mn}$
A_2	$x_{211}\ x_{212}\cdots\ x_{21n}$	$x_{221}\ x_{222}\cdots\ x_{22n}$	……	$x_{2m1}\ x_{2m2}\cdots\ x_{2mn}$
…	…………	…………	……	…………
A_l	$x_{l11}\ x_{l12}\cdots\ x_{l1n}$	$x_{l21}\ x_{l22}\cdots\ x_{l2n}$		$x_{lm1}\ x_{lm2}\cdots\ x_{lmn}$

两因素交叉分组方差分析与无交互效应时双因素方差分析不同点是前者考虑了因素 A、B 之间的交互作用。在试验安排上，在 A_iB_j 下有重复实验，设所有试验重复 n 次。因素 A 和 B 的交互作用记为 $A\times B$。其试验结果的方差分析为

$$N=l\times m\times n$$

$$\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}\quad(i=1,2,\cdots,l;j=1,2,\cdots,m;k=1,2,\cdots,n)$$

各变差平方和计算公式为

总平方和 Q_T

$$Q_T=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijk}-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}^2-\frac{T^2}{N}\tag{17—12}$$

式中

$$T=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$$

因素 A,B 的变差平方和

$$Q_A=m\cdot n\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2-\frac{T^2}{N}\tag{17—13}$$

式中　$\bar{x}_i=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}x_{ij}$；　$T_i=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$

$$Q_B=l\cdot n\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_j-\bar{x})^2=\frac{1}{l\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2-\frac{T^2}{N}\tag{17—14}$$

式中　$\bar{x}_j=\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}x_{ij}$；　$T_j=\sum_{i=1}^{l}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$

因素 A,B 交互效应变差平方和 $Q_{A\times B}$

$$Q_{A\times B}=n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_{ij}-\bar{x})^2-m\cdot n\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_i-\bar{x})^2-l\cdot n\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_j-\bar{x})^2$$

$$=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2-\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{i}T_i^2-\frac{1}{l\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2+\frac{T^2}{N}\tag{17—15}$$

式中 $\bar{x}_{ij}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$； $T_{ij}=\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$

试验误差平方和 Q_e

$$Q_e=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijk}-\bar{x}_{ij})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2 \tag{17—16}$$

当不进行重复测定，即 $n=1$ 则(17—16)式计算 $Q_e=0$，这时因素交互效应和试验误差效应合并在一起，不能分离出来。当 $n\geqslant2$ 时，因素间的交互效应能从试验误差效应中分离出来。根据变差平方和的加和性原理有

$$Q_T=Q_A+Q_B+Q_{A\times B}+Q_e \tag{17—17}$$

其相应的自由度为

$$\left.\begin{aligned}&f_T=N-1\\&f_A=l-1;f_B=m-1,f_{A\times B}=(l-1)\cdot(m-1)\\&f_e=l\cdot m\cdot(n-1)\end{aligned}\right\} \tag{17—18}$$

各因素的方差，F 值及其计算见表17-6。

表17-6 双因素交叉分组全面试验方差分析表(等重复试验)

变差平方和来源	变差平方和	自由度	方差估计值	固定模型		随机模型		混合模型	
				预期方差	F 值	预期方差	F 值	预期方差	F 值
A	Q_A	$f_A=l-1$	$s_A^2=\frac{Q_A}{f_A}$	$m\cdot n\sigma_A^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$	$m\cdot n\sigma_A^2+n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_{AB}^2}$	$m\cdot n\sigma_A^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$
B	Q_B	$f_B=m-1$	$s_B^2=\frac{Q_B}{f_B}$	$l\cdot n\sigma_B^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_e^2}$	$l\cdot n\sigma_B^2+n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_{AB}^2}$	$l\cdot n\sigma_B^2+n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_B^2}{s_{AB}^2}$
$A\times B$	$Q_{A\times B}$	$f_{AB}=(l-1)\cdot(m-1)$	$s_{AB}^2=\frac{Q_{AB}}{f_{AB}}$	$n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$	$n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$	$n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$
试验误差	Q_e	$f_e=l\cdot m(n-1)$	$s_e^2=\frac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2		σ_e^2		σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T=N-1$							

由于因素性质不同以及因素之间可能存在交互作用。根据不同的因素 F 检验有3种模型，统计量 F 值的计算方法为

(1) 固定模型 因素 A 和 B 都是固定因素，统计量 F 值：

$$F_A=\frac{s_A^2}{s_e^2};\ F_B=\frac{s_B^2}{s_e^2};\ F_{AB}=\frac{s_{AB}^2}{s_e^2}$$

(2) 随机模型 因素 A 和 B 都是随机因素，统计量 F 值：

$$F_A=s_A^2/s_{AB}^2;\ F_B=s_B^2/s_{AB}^2;\ F_{AB}=s_{AB}^2/s_e^2$$

(3) 混合模型 因素 A 为随机因素，因素 B 为固定因素，统计量 F 值。

$$F_A=s_A^2/s_e^2;\ F_B=s_B^2/s_{AB}^2;\ F_{AB}=s_{AB}^2/s_e^2$$

三、双因素系统分组方差分析

系统分组是先按一级因素 A 的 l 个水平分成 l 组，然后再按二级因素 B 的 m 个水平分成 m 个组。如果还有因素 C，在按因素 A，B 的水平分组之后，再按因素 C 分组。如果还有因素，再分组等等。与交叉分组不同的，在系统分组中，一级因素 A 与二级因素 B 之间不再是平等关系，而侧重一级因素 A，二级因素 B 的作用是随着一级因素 A 的水平而变化。两因素等重复测

定次数的系统分组试验安排见表17-7。

两因素系统分组全面试验中，各项变差平方和的计算方法与交叉分组试验不同。总的变差平方和

$$Q_T=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijk}-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}^2-\frac{T^2}{N} \qquad (17-19)$$

式中 $N=l\cdot m\cdot n$；$\bar{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$ $\begin{pmatrix} i=1, 2, \cdots, l \\ j=1, 2, \cdots, m \\ k=1, 2, \cdots, n \end{pmatrix}$

表17-7 双因素系统分组全面试验安排表

一级因素 A	二级因素 B	重复测定次数	$\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$	$\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{r}x_{ijk}$
	1，1	x_{111}，x_{112}，…，x_{11k}，…x_{11n}	T_{11}		
	1，2	x_{121}，x_{122}，…，x_{12k}，…x_{12n}	T_{12}		
	…	………	…		
A_1	1，j	x_{1j1}，x_{1j2}，…，x_{1jk}，…x_{1jn}	T_{1j}	T_1	
	…	………	…		
	1，m	x_{1m1}，…，x_{1mk}…x_{1mn}	T_{1m}		
…	…	………	…	…	T
	l，1	x_{l11}，…，x_{l1k}…x_{l1n}	T_{l1}		
	l，2	x_{l21}，…x_{l2k}，…x_{l2n}	T_{l2}		
	…	………	…		
A_l	l，j	x_{lj1}，…x_{ljk}，…x_{ljn}	T_{lj}	T_l	
	…	………	…		
	l，m	x_{lm1}，…x_{lmk}…x_{lmn}	T_{lm}		

一级因素 A 的变差平方和 Q_A

$$Q_A=m\cdot n\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2-\frac{T^2}{N} \qquad (17-20)$$

式中 $\bar{x}_i=\frac{1}{m\cdot n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$

二级因素 B 的变差平方和 $Q_{B(A)}$

$$Q_{B(A)}=n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_{ij}-\bar{x}_i)^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2-\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2 \qquad (17-21)$$

式中 $\bar{x}_{ij}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$

随机误差效应产生的变差平方和 Q_e

$$Q_e=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijk}-\bar{x}_{ij})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}\right)^2 \qquad (17-22)$$

各变差平方和之间的关系，仍然服从变差平方和的加和性，

$$Q_T=Q_A+Q_{B(A)}+Q_e \qquad (17-23)$$

它们相应的自由度为

$$\left.\begin{array}{l} f_T=N-1 \\ f_A=l-1;f_{B(A)}=l(m-1);f_e=l\cdot m(n-1) \end{array}\right\} \qquad (17-24)$$

其自由度也有加和性，即

$$f_T = f_A + f_{B(A)} + f_e$$

接着计算各自的方差估计值，进行 F 检验。双因素系统分组方差分表见表17-8。

表17-8 双因素系统分组等重复试验方差分析表

方差来源	变差平方和	自由度	方差估计值	预期方差	F 值
一级因素 A	Q_A	$f_A = l-1$	$s_A^2 = \frac{Q_A}{f_A}$	$m \cdot n\sigma_A^2 + n\sigma_{B(A)} + \sigma_e^2$	$s_A^2 / s_{B(A)}^2$
二级因素 B	$Q_{B(A)}$	$f_{B(A)} = l\ (m-1)$	$s_{B(A)}^2 = \frac{Q_{B(A)}}{f_{B(A)}}$	$n\sigma_{B(A)}^2 + \sigma_e^2$	$s_{B(A)}^2 / s_e^2$
试验误差	Q_e	$f_e = l \cdot m \cdot (n-1)$	$s_e^2 = \frac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T = N-1$			

第三节 多因素方差分析

在方差分析中，随着因素增加，全面试验的方法需要的试验次数急速增加，不仅化费大，有时不可能做到。因此，只在试验比较容易做，而必须要清楚地分析各种交互作用时，才采用全面试验的方法。本节简述三因素试验的情况。

一、三因素交叉分组全面试验的方差分析

三因素多水平等重复全面试验的安排见表17-9。

表17-9 三因素多水平等重复全面试验安排表

		C_1	C_2	……	C_p
A_1	B_1	$x_{1111}, x_{1112}, \cdots, x_{111n}$	$x_{1121}, x_{1122}, \cdots\cdots, x_{112n}$	……	$x_{11p1}, x_{11p2}, \cdots\cdots, x_{11pn}$
	B_2	$x_{1211}, x_{1212}, \cdots, x_{121n}$	$x_{1221}, x_{1222}, \cdots\cdots, x_{122n}$		$x_{12p1}, x_{12p2}, \cdots\cdots, x_{12pn}$
	…	……	……		……
	B_m	$x_{1m11}, x_{1m12}, \cdots, x_{1m1n}$	$x_{1m21}, x_{1m22}, \cdots\cdots, x_{1m2n}$		$x_{1mp1}, x_{1mp2}, \cdots\cdots, x_{1mpn}$
A_2	B_1	$x_{2111}, x_{2112}, \cdots, x_{211n}$	$x_{2121}, x_{2122}, \cdots\cdots, x_{212n}$	……	$x_{21p1}, x_{21p2}, \cdots\cdots, x_{21pn}$
	B_2	$x_{2211}, x_{2212}, \cdots, x_{221n}$	$x_{2221}, x_{2222}, \cdots\cdots, x_{222n}$		$x_{22p1}, x_{22p2}, \cdots\cdots, x_{22pn}$
	…	……	……		……
	B_m	$x_{2m11}, x_{2m12}, \cdots, x_{2m1n}$	$x_{2m21}, x_{2m22}, \cdots\cdots, x_{2m2n}$		$x_{2mp1}, x_{2mp2}, \cdots\cdots, x_{2mpn}$
⋮	⋮	……	……	…	……
A_l	B_1	$x_{l111}, x_{l112}, \cdots, x_{l11n}$	$x_{l121}, x_{l122}, \cdots\cdots, x_{l12n}$	……	$x_{l1p1}, x_{l1p2}, \cdots\cdots, x_{l1pn}$
	B_2	$x_{l211}, x_{l212}, \cdots, x_{l21n}$	$x_{l221}, x_{l222}, \cdots\cdots, x_{l22n}$		$x_{l2p1}, x_{l2p2}, \cdots\cdots, x_{l2pn}$
	…	……	……		……
	B_m	$x_{lm11}, x_{lm12}, \cdots, x_{lm1n}$	$x_{lm21}, x_{lm22}, \cdots\cdots, x_{lm2n}$		$x_{lmp1}, x_{lmp2}, \cdots\cdots, x_{lmpn}$

表中因素 A、B、C 的水平数分别为 l、m、p，n 为重复试验次数，各项变差平方和的计算方法为

$$Q_T = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijrk} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n} x_{ijrk}^2 - \frac{T^2}{N} \qquad (17—25)$$

式中 $N = l \cdot m \cdot p \cdot n \qquad (i=1,2,\cdots,l; j=1,2,\cdots,m; r=1,2,\cdots,p; k=1,2,\cdots,n)$

$$T = \sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n} x_{ijrk};\quad \bar{x} = \frac{T}{N}$$

$$Q_A=m\cdot p\cdot n\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2-\frac{T^2}{N} \tag{17—26}$$

式中 $T_i=\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_i=\frac{T_i}{m\cdot p\cdot n}$

$$Q_B=l\cdot p\cdot n\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_j-\bar{x})^2=\frac{1}{l\cdot p\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2-\frac{T^2}{N} \tag{17—27}$$

式中 $T_j=\sum_{i=1}^{l}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_j=\frac{T_j}{l\cdot p\cdot n}$

$$Q_C=l\cdot m\cdot n\sum_{r=1}^{p}(\bar{x}_r-\bar{x})^2=\frac{1}{l\cdot m\cdot n}\sum_{r=1}^{p}T_r^2-\frac{T^2}{N} \tag{17—28}$$

式中 $T_r=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_r=\frac{T_r}{l\cdot m\cdot n}$

$$\begin{aligned}Q_{AB}&=p\cdot n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_{ij}-\bar{x}_i-\bar{x}_j+\bar{x})^2\\&=\frac{1}{p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{n}T_{ij}^2-\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2\\&\quad-\frac{1}{l\cdot p\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2+\frac{T^2}{N}\end{aligned} \tag{17—29}$$

式中 $T_{ij}=\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_{ij}=\frac{T_{ij}}{p\cdot n}$

$$\begin{aligned}Q_{AC}&=m\cdot n\sum_{i=1}^{l}\sum_{r=1}^{p}(\bar{x}_{ik}-\bar{x}_i-\bar{x}_r+\bar{x})^2\\&=\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{r=1}^{p}T_{ik}^2-\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2-\frac{1}{l\cdot m\cdot n}\sum_{r=1}^{P}T_r^2+\frac{T^2}{N}\end{aligned} \tag{17—30}$$

式中 $T_{ik}=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_{ik}=\frac{T_{ik}}{m\cdot n}$

$$\begin{aligned}Q_{BC}&=l\cdot n\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}(\bar{x}_{jk}-\bar{x}_j-\bar{x}_k+\bar{x})^2\\&=\frac{1}{l\cdot n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}T_{jk}^2-\frac{1}{l\cdot p\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2\\&\quad-\frac{1}{l\cdot m\cdot n}\sum_{r=1}^{p}T_r^2+\frac{T^2}{N}\end{aligned} \tag{17—31}$$

式中 $T_{jk}=\sum_{i=1}^{l}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$； $\bar{x}_{jk}=\frac{T_{jk}}{l\cdot n}$

$$\begin{aligned}Q_{ABC}&=n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}(\bar{x}_{ijk}-\bar{x}_{ij}-\bar{x}_{jk}-\bar{x}_{ik}+\bar{x}_i+\bar{x}_j+\bar{x}_k-\bar{x})^2\\&=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}T_{ijk}^2-\frac{1}{p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2-\frac{1}{m\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{r=1}^{p}T_{ik}^2-\frac{1}{l\cdot n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}T_{jk}^2\\&\quad+\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2+\frac{1}{l\cdot p\cdot n}\sum_{j=1}^{m}T_j^2+\frac{1}{l\cdot m\cdot n}\sum_{r=1}^{p}T_r^2-\frac{T^2}{N}\end{aligned} \tag{17—32}$$

式中 $T_{ijk}=\sum_{k=1}^{n}x_{ijk}$； $\bar{x}_{ijk}=\frac{T_{ijk}}{n}$

$$Q_e=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijrk}-\bar{x}_{ijk})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}T_{ijk}^2 \tag{17-33}$$

根据变差平方和的加和性

$$Q_T=Q_A+Q_B+Q_C+Q_{AB}+Q_{AC}+Q_{BC}+Q_{ABC}+Q_e \tag{17-34}$$

按方差分析步骤计算各自的自由度及方差，并进行 F 检验。在 F 检验中统计量 F 值的计算有3种模型：固定模型，随机模型和混合模型。在混合模型中，只考虑一个因素为随机因素，并将其设置为因素 C。在分析测试中，三因素均为随机因素是不多见的，故不予考虑。在检验时，首先检验三因素之间的高级交互作用，如果不显著，将其与误差效应合并。其次，检验两因素之间的交互效应，如果不显著，再与误差效应合并。最后，检验各因素的主效应，其检验结果见表17-10。

方差检验后，凡是效应是显著者，根据方差估计值和预期方差组成，计算各项方差 σ^2。并能估计各项因素效应方差的相对值。

表17-10　三因素交叉分组全面等重复试验方差分析表

方差来源	平方和	自由度	方差估计值	固定模型		混合模型	
				预期方差	F 值	预期方差	F 值
A	Q_A	$f_A=l-1$	$s_A^2=\frac{Q_A}{f_A}$	$m\cdot p\cdot n\sigma_A^2+\sigma_e^2$	$\frac{s_A^2}{s_e^2}$	$m\cdot p\cdot n\sigma_A^2+m\cdot n\sigma_{AC}^2+\sigma_e^2$	s_A^2/s_{AC}^2
B	Q_B	$f_B=m-1$	$s_B^2=\frac{Q_B}{f_B}$	$l\cdot p\cdot n\sigma_B^2+\sigma_e^2$	s_B^2/s_e^2	$l\cdot p\cdot n\sigma_B^2+l\cdot n\sigma_{BC}^2+\sigma_e^2$	s_B^2/s_{BC}^2
C	Q_C	$f_C=p-1$	$s_C^2=\frac{Q_C}{f_C}$	$l\cdot m\cdot n\sigma_C^2+\sigma_e^2$	s_C^2/s_e^2	$l\cdot m\cdot n\sigma_C^2+\sigma^2$	s_C^2/s_e^2
$A\times B$	Q_{AB}	$f_{AB}=(l-1)(m-1)$	$s_{AB}^2=\frac{Q_{AB}}{f_{AB}}$	$p\cdot n\sigma_{AB}^2+\sigma_e^2$	s_{AB}^2/s_e^2	$p\cdot n\sigma_{AB}^2+n\sigma_{ABC}+\sigma_e^2$	s_{AB}^2/s_{ABC}^2
$A\times C$	Q_{AC}	$f_{AC}=(l-1)(p-1)$	$s_{AC}^2=\frac{Q_{AC}}{f_{AC}}$	$m\cdot n\sigma_{AC}^2+\sigma_e^2$	s_{AC}^2/s_e^2	$m\cdot n\sigma_{AC}^2+\sigma_e^2$	s_{AC}^2/s_e^2
$B\times C$	Q_{BC}	$f_{BC}=(m-1)(p-1)$	$s_{BC}^2=\frac{Q_{BC}}{f_{BC}}$	$l\cdot n\sigma_{BC}^2+\sigma_e^2$	s_{BC}^2/s_e^2	$l\cdot n\sigma_{BC}^2+\sigma_e^2$	s_{BC}^2/s_e^2
$A\times B\times C$	Q_{ABC}	$f_{ABC}=(l-1)(m-1)(p-1)$	$s_{ABC}^2=\frac{Q_{ABC}}{f_{ABC}}$	$n\sigma_{ABC}^2+\sigma_e^2$	s_{ABC}^2/s_e^2	$n\sigma_{ABC}^2+\sigma_e^2$	s_{ABC}^2/s_e^2
误差	Q_e	$f_e=l\cdot m\cdot p(n-1)$	$s_e^2=\frac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2		σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T=N-1$					

二、三因素系统分组方差分析

三因素系统分组方差分析与二因素系统分组方差分析相似方法处理，二者之间不同处是前者比后者多一因素。三因素系统分析等重复试验安排表见表17-11。

各级因素效应的计算方法如下：

$$Q_T=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijrk}-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}^2-\frac{T^2}{N} \tag{17-35}$$

式中　$i=1,2,\cdots,l;j=1,2,\cdots,m;r=1,2,\cdots,p;k=1,2,\cdots,n$

$$Q_A=m\cdot p\cdot n\sum_{i=1}^{l}(\bar{x}_i-\bar{x})^2=\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2-\frac{T^2}{N} \tag{17—36}$$

$$Q_{B(A)}=p\cdot n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}(\bar{x}_{ij}-\bar{x}_i)^2=\frac{1}{p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2-\frac{1}{m\cdot p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}T_i^2 \tag{17—37}$$

$$Q_{C(AB)}=n\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}(\bar{x}_{ijr}-\bar{x}_{ij})^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}T_{ijr}^2-\frac{1}{p\cdot n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}T_{ij}^2 \tag{17—38}$$

表17-11　三因素系统分组等重复试验安排表

一级因素 A	二级因素 B	三级因素 C	重复测定次数	$\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$	$\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$	$\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$	$\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}$
		1,1,1	$x_{1111},x_{1112},\cdots\cdots,x_{111n}$	T_{111}			
	1,1	…	…	…	T_{11}		
		1,1,p	$x_{11p1},x_{11p2},\cdots,x_{11p}$	T_{11p}			
		1,2,1	$x_{1211},x_{1212},\cdots,x_{121n}$	T_{121}			
	1,2	…	…	…	T_{12}		
1		1,2,p	$x_{12p1},x_{12p2},\cdots,x_{12pn}$	T_{12p}		T_1	
	…	…	…	…	…		
		1,m,1	$x_{1m11},x_{1m12},\cdots,x_{1m1n}$	T_{1m1}			
	1,m	…	…	…	T_{1m}		
		1,m,p	$x_{1mp1},x_{1mp2},\cdots,x_{1mpn}$	T_{1mp}			
…	…	…	…………	…	…	…	T
		l,1,1	$x_{l111},x_{l112},\cdots,x_{l11n}$	T_{l11}			
	l,1	…	…	…	T_{l1}		
		l,1,p	$x_{l1p1},x_{l1p2},\cdots,x_{l1pn}$	T_{l1p}			
		l,2,1	$x_{l211},x_{l212},\cdots,x_{l21n}$	T_{l21}			
	l,2	…	…	…	T_{l2}		
l		l,2,p	$x_{l2p1},x_{l2p2},\cdots,x_{l2pn}$	T_{l2p}		T_l	
	…	…	……	…	…		
		l,m,1	$x_{lm11},x_{lm12},\cdots,x_{lm1n}$	T_{lm1}			
	l,m	…	…	…	T_{lm}		
		l,m,p	$x_{lmp1},x_{lmp2},\cdots,x_{lmpn}$	T_{lmp}			

$$Q_e=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}(x_{ijrk}-\bar{x}_{ijr})^2=\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}x_{ijrk}^2-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\sum_{r=1}^{p}\sum_{k=1}^{n}T_{ijr}^2 \tag{17—39}$$

式中　$N=l\cdot m\cdot p\cdot n$

$\bar{x}=\frac{T}{N}$；　$\bar{x}_i=\frac{T_i}{m\cdot p\cdot n}$；　$\bar{x}_{ij}=\frac{T_{ij}}{p\cdot n}$；　$\bar{x}_{ijr}=\frac{T_{ijr}}{n}$

其中T、T_i，T_{ij}，T_{ijr}的意义见表17-11，Q_A，$Q_{B(A)}$，$Q_{C(AB)}$分别表示一、二、三级因素的变差平方和，Q_e为误差效应变差平方和，N为测定数据总数，l、m、p为其相应因素的水平数（或分组数）。

在系统分组中，如有M个因素，第i级因素效应的方差对第$i+1$级因素效应方差进行F检验。最后一级因素（第M级因素）的方差对试验误差效应方差进行F检验。如果两者之间无显著性差异，则将方差合并，再用合并方差对前一级方差进行检验。三因素系统分组方差分析见表17-12。

表17-12　三因素系统分组方差分析表

方差来源	变差平方和	自由度	方差	预期方差	F值
一级因素 A	Q_A	$f_A=l-1$	$s_A^2=\dfrac{Q_A}{f_A}$	$m\cdot p\cdot n\sigma_A^2+p\cdot n\sigma_{B(A)}^2+n\sigma_{C(A,B)}^2+\sigma_e^2$	$\dfrac{s_A^2}{s_{B(A)}^2}$
二级因素 B	$Q_{B(A)}$	$f_{B(A)}=l(m-1)$	$s_{B(A)}^2=\dfrac{Q_{B(A)}}{f_{B(A)}}$	$p\cdot n\sigma_{B(A)}^2+n\sigma_{C(A,B)}^2+\sigma_e^2$	$\dfrac{s_{B(A)}^2}{s_{C(A,B)}^2}$
三级因素 C	$Q_{C(A,B)}$	$f_{C(AB)}=l\cdot m(p-1)$	$s_{C(A,B)}^2=\dfrac{Q_{C(AB)}}{f_{C(AB)}}$	$n\sigma_{C(A,B)}^2+\sigma_e^2$	$\dfrac{s_{C(A,B)}^2}{S_e^2}$
试验误差效应	Q_e	$f_e=l\cdot m\cdot p(n-1)$	$s_e^2=\dfrac{Q_e}{f_e}$	σ_e^2	
总和	Q_T	$f_T=N-1$			

第十八章　回归分析法

第一节　一元线性回归分析

一、回归方程的建立

一元线性回归是研究两个变量之间的线性关系。其中一个自变量 x 能精确测定的，因变量 y 是随机变量，随 x 而变化，其一般的形式为

$$Y=a+bx \tag{18—1}$$

式中 a 为截距，b 为回归系数。通过实验求得 a 和 b 的数值，就能建立一元线性回归方程。

若对 x 的取值为 x_1，x_2，…，x_n 时，相应的测定值为 y_1，y_2，…，y_n。通过实验得 n 对测定值（x_1，y_1），（x_2，y_2），…。由于实验过程中存在误差，实验点并不精确落在（18—1）式确立的回归线上。y_i 与 x_i 之间以相关关系表现出来。

设任一实验点（x_i，y_i）偏离回归线的距离为 ε_i，则

$$\varepsilon_i=y_i-Y_i=y_i-(a+bx_i) \tag{18—2}$$

（18—2）式表示，从点（x_i，y_i）到回归线上点（x_i，Y_i）的距离。要使回归线最好地反映实验点的分布情况，应选择合适的 a 和 b 值，使 ε_i 的平方和最小。即

$$Q_e=\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2=\sum_{i=1}^{n}[y_i-(a+bx_i)]^2 \tag{18—3}$$

为最小。（18—3）式中 Q_e 为各点到回归线之间距离的平方和。

用（18—3）式对 a，b 求偏微，并使它等于“零”。

$$\frac{\partial Q}{\partial a}=2\sum_{i=1}^{n}[y_i-(a+bx_i)](-1)=0 \tag{18—4}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b}=2\sum_{i=1}^{n}[y_i-(a+bx_i)](-x_i)=0 \tag{18—5}$$

解（18—4）式和（18—5）式得

$$a=\bar{y}-b\bar{x} \tag{18—6}$$

$$b=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2} \tag{18—7}$$

式中　$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$；$\bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i$

设

$$L_{xy}=\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right) \tag{18—8}$$

$$L_{xx}=\sum_{i=1}^{n}x_i^2-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2 \tag{18—9}$$

则 $b=\dfrac{L_{xy}}{L_{xx}}$

将求得的 a，b 值代入（18—1）式，得一元线性回归方程。从（18—6）式可知回归线一定通过点（$\bar{x}$，$\bar{y}$）。

二、回归方程的检验

（一）F 检验

根据方差分析原理，对于任意 n 对数据（x_1，y_1），（x_2，y_2），…（x_n，y_n）可得

$$\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2=\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2+\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2 \tag{18—10}$$

式中 $\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2$ 称为总的变差平方和，表示 n 对数据的偏差平方和；$\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2$ 称为剩余变差平方和，表示试验误差或 x 对 y_i 非线性影响以及其他未考虑到的因素的影响；$\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})$ 称为回归变差平方和，表示 y 随 x 的变化。

设 $Q_{yy}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2$；$Q_e=\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2$；$Q_u=\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2$ 则（18—10）式可改写成

$$Q_{yy}=Q_e+Q_u \tag{18—10a}$$

其相应的自由度为

$f_{yy}=n-1$；$f_u=1$；$f_e=n-2$

检验 x，y 之间是否存在线性相关关系时，F 检验的统计量为

$$F=\frac{Q_u/f_u}{Q_e/f_e}=\frac{Q_u}{Q_e}\cdot f_e \tag{18—11}$$

如果计算 F 值很大或大于 F_a，f_u，f_e 临界值，可认为 x 与 y 之间有线性相关关系，反之，则线性不相关或称无线性关系。

当有重复测定时，试验误差平方和 Q_e' 能从剩余变差平方和中分离出来。分离试验误差平方和之后的剩余变差平方和称失拟变差平方和 Q_d，表示回归方程拟合好坏的程度。所以，在有重复测定时，F 检验与无重复测定时有区别。其步骤是：计算回归系数 b 和截距 a，

$$b=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i\bar{y}_i-\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n}\bar{y}_i\right)}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2+\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2} \tag{18—12}$$

（18—12）与（18—7）式不同之处是 y_i 改为 $\bar{y}_i$，而

$$\bar{y}_i=\frac{1}{r}\sum_{j=1}^{r}y_{ij} \tag{18—13}$$

式中 r 为试验重复次数。再由（18—6）式计算 $a=\bar{y}-b\bar{x}$，建立起有重复测定时的回归方程。为进行 F 检验，计算回归方程的变差平方和。回归方程总变差平方和 Q_T 为

$$Q_T=Q_u+Q_d+Q'_e \tag{18—14}$$

其中

$$Q_T=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{r}(y_{ij}-\bar{y})^2 \tag{18—15}$$

$$Q_u=r\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2 \tag{18—16}$$

$$Q_d=r\sum_{i=1}^{n}(\bar{y}_i-Y_i)^2 \tag{18—17}$$

$$Q_e'=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{r}(y_{ij}-\bar{y}_i)^2 \tag{18—18}$$

$$N=r\cdot n$$

其相应的自由度为　$f_T=N-1$；$f_u=1$；$f_d=n-2$；$f_e'=n\ (r-1)$。

检验回归方程是否拟合的好？其统计量

$$F_d=\frac{Q_u/f_u}{Q_e'/f_e} \tag{18—19}$$

在给定的显著水平 α 和自由度 f_d，f'_e 时，如果 $F_d>F\ (\alpha,\ f_d,\ f_e)$，则 F 检验有显著性差异，表示回归方程拟合的不好，说明 x 对 y 存在非线性影响和除 x 之外的其他因素的影响。如果 $F_d\leqslant F\ (\alpha,\ f_d,\ f_e)$，$F$ 检验无显著性差异，说明失拟情况不显著，可以不必考虑。即失拟平方和基本上由实验误差等随机因素引起，可以把失拟变差平方和与试验误差平方和合并，其自由度也可合并。然后，再对回归方程的线性相关关系进行检验，这时的统计量为

$$F=\frac{Q_u/f_u}{Q_e/f_e} \tag{18—20}$$

式中　$Q_e=Q_d+Q_e'$，$f_e=f_d+f_e'$。

（二）相关系数检验

在分析测试中，一元回归通常多采用相关系数检验，所用统计量为

$$r=\frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}\cdot L_{yy}}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})\cdot(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\cdot\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \tag{18—21}$$

r 为相关系数，取值范围是 $0<|r|<1$，即 r 值可以是正值，为正相关，也可以是负值，为负相关。在相关性检验时，当 r 值大于给定的显著性水平 α 和 $f=n-2$ 下的 $r_{\alpha,f}$临界时，因变量 y 与自变量 x 之间线性显著相关。反之，线性无关。$r_{\alpha,f}$临界值见表 18-1。

表 18-1　相关系数临界值表

$n-2$	显著性水平 α		$n-2$	显著性水平 α		$n-2$	显著性水平 α	
	0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
1	0.997	1.000	11	0.553	0.684	21	0.413	0.526
2	0.950	0.990	12	0.532	0.661	22	0.404	0.515
3	0.878	0.959	13	0.514	0.641	23	0.396	0.505
4	0.811	0.917	14	0.497	0.623	24	0.388	0.496
5	0.754	0.874	15	0.482	0.606	25	0.381	0.487
6	0.707	0.834	16	0.468	0.590	26	0.374	0.478
7	0.666	0.798	17	0.456	0.575	27	0.367	0.470
8	0.632	0.765	18	0.444	0.561	28	0.361	0.463
9	0.602	0.735	19	0.433	0.549	29	0.355	0.456
10	0.576	0.708	20	0.423	0.537	30	0.349	0.449

从(18—11)式和(18—21)式知一元线性相关的 F 检验和 r 检验二者是一致的，

$$F=\frac{r^2}{(1-r^2)}\cdot(n-2) \tag{18—22a}$$

或

$$r=\sqrt{\frac{F}{F+n-2}} \tag{18—22b}$$

三、回归线的精密度与置信区间

（一）回归线的精密度

回归线的精密度以剩余标准偏差表示，它反映试验点（x_i，y_i）围绕回归线的离散程度。剩余标准偏差（s_e）

$$s_e=\sqrt{\frac{Q_e}{f_e}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2}{n-2}} \tag{18—23}$$

式中剩余平方和 Q_e，可通过不同的途径计算：

$$Q_e=Q_{yy}-Q_u；\ Q_e=Q_{yy}-bL_{xy}=(1-r^2)Q_{yy} \tag{18—24}$$

（二）回归线的置信区间

回归线的置信区间是指对于给定的 x_i 值，y_i 值落在按回归方程计算的以 Y 值为中心的 $\pm 2s_e$区间。称该区间为回归线置信度为95.4%的置信区间。即

$$Y=a+bx\pm 2s_e \tag{18—25}$$

式中 s_e 为剩余标准偏差，由（18—23）式决定。以上公式适用于 n 较大，将 a，b 当做常数且 x_o 较接近 $\bar{x}$ 的情况。当考虑到 a，b 亦是随机变量时，则用

$$s_y=s_e\sqrt{1+\frac{1}{n}+\frac{(x_0-\bar{x})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}} \tag{18—26}$$

代替 s_e，这时线性回归方程的置信区间为

$$[y_0-t_{\alpha,n-2}\cdot s_y,\ y_0+t_{\alpha,n-2}\cdot s_y]$$

s_y 称预报标准偏差，根据 s_y 画制的置信区间见图 18-1。

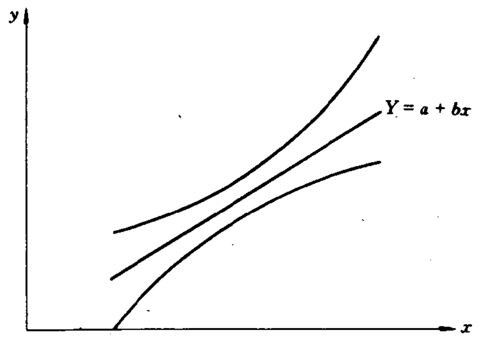


图 18-1　回归线的置信区间

在分析测试中常使用（18—1）式进行反估，即由试验测得 Y 值，进而从（18—1）式计算出 x 值

$$x=\frac{Y-a}{b}$$

x 值的精确性由 s_e，及 a，b 的稳定性决定。反估值（x_0）的标准偏差为

$$s_{反估}=\frac{s_e}{b}\sqrt{\frac{1}{m}+\frac{1}{n}+\frac{(y_0-\bar{y})}{b^2\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}} \tag{18—27}$$

式中 m 是 Y 值测定的次数，可见增加测定 Y 值的次数能提高反估的精度。

（三）回归系数的稳定性

回归系数的稳定性在一元线性回归方程中以截距 a 和斜率 b 表示。a 和 b 的变动性由 a 和 b 的方差来表示。即

$$s_b^2=s_e^2\cdot\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{18—28}$$

$$s_a^2=s_e^2\left[\frac{1}{n}+\frac{\bar{x}^2}{\sum\limits_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\right]=s_e^2\ \frac{\sum\limits_{i=1}^{n}x_i^2}{n\sum\limits_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{18—29}$$

式中 s_b^2 和 s_a^2 分别表示回归系数 b 和 a 的方差，s_e^2 为剩余方差，n 为 x 取值的个数。

四、两条回归线的比较

回归直线的比较，就是检验两条回归直线（或两个回归方程）的参数斜率 b 和常数项 a 是否有显著性差异。从统计检验的角度看，就是检验原假设 H_0：$b_1=b_2$ 和 $a_1=a_2$。

设有两条回归线

$$\left.\begin{aligned}Y_1=a_1+b_1x_1\\Y_2=a_2+b_2x_2\end{aligned}\right\} \tag{18—30}$$

现在要检验这两条回归线之间在统计上是否有显著性差异？如果两者之间无显著性差异，即可用一条共同的回归线来表示。其检验步骤为：

（1）用 F 检验法检验两条回归线的剩余方差（s_1^2，s_2^2）之间有无显著性差异。如无显著性差异，求出合并的剩余方差。检验的统计量为

$$F=\frac{s_1^2}{s_2^2}=\frac{Q_{余1}}{n_1-2}\Big/\frac{Q_{余2}}{n_2-2} \tag{18—31}$$

通常把大的剩余方差作为 s_1^2，小的作为 s_2^2（分母）。n_1 和 n_2 分别为两条回归线的实验点数目。当 s_1^2 和 s_2^2 之间无显著性差异时，合并的剩余方差

$$\bar{s}^2=\frac{(n_1-2)s_1^2+(n_2-2)s_2^2}{n_1+n_2-4} \tag{18—32}$$

（2）检验回归系数 b_1 与 b_2 之间有无显著性差异。使用统计量为

$$t=\frac{|b_1-b_2|}{s_{(b_1-b_2)}} \tag{18—33}$$

自由度为 $f=n_1+n_2-4$。在（1）的方差检验中，当 s_1^2 与 s_2^2 之间无显著差异时，（18—33）式中 $s_{(b_1-b_2)}$ 为

$$s_{(b_1-b_2)}^2=\bar{s}^2\left[\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}+\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}\right] \tag{18—34}$$

当 s_1^2 和 s_2^2 之间有显著差异时，（18—33）式中 $s_{(b_1-b_2)}$ 为

$$s_{(b_1-b_2)}^2=\frac{s_1^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}+\frac{s_2^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2} \tag{18—35}$$

式中自由度 f 按下式计算

$$\frac{1}{f}=\frac{c^2}{f_1}+\frac{(1-c^2)}{f_2} \tag{18—36}$$

$$c=\frac{\dfrac{s_1^{\ 2}}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}}{\dfrac{s_1^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}+\dfrac{s_2^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}}$$

$$f_1=n_1-2;\quad f_2=n_2-2$$

当计算的 t 值〔(18—33) 式〕大于给定的显著性水平 α 和相应的自由度 f 下的临界值 $t_{\alpha,f}$ 时，认为 b_1 和 b_2 之间有显著性差异，否定原假设 $H_0: b_1=b_2$，即两条回归线的斜率不一致。反之，b_1 和 b_2 之间无显著性差异，接受原假设 $H_0: b_1=b_2$，即两条回归线的斜率是一致的，但未必是重合。

在 b_1 与 b_2 一致的情况下，可用加权法求出共同的 $\bar{b}$ 值。

$$\bar{b}=\frac{b_1\cdot\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}{s_1^2}+b_2\cdot\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}{s_2^2}}{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}{s_1^2}+\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}{s_2^2}} \tag{18—37}$$

(3) 检验截距 a_1 与 a_2 之间有无显著性差异。检验 a_1 与 a_2 之间是否有显著性差异使用的统计量为

$$t=\frac{|a_1-a_2|}{s_{(a_1-a_2)}} \tag{18—38}$$

当 s_1^2 与 s_2^2 之间无显著性差异时，(18—33) 式中 $s_{(a_1-a_2)}$ 用下式计算。

$$s_{(a_1-a_2)}^2=\bar{s}^2\left[\frac{1}{n_1}+\frac{\bar{x}_1^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2+\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}+\frac{1}{n_2}+\frac{\bar{x}_2^2}{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2+\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}\right]$$

$f=n_1+n_2-4$，当 (18—38) 式中 t 值小于给定显著性水平 α 和相应自由度 f 下临界值 $t_{\alpha,f}$，表明 a_1 与 a_2 之间无显著性差异，那么 a_1 和 a_2 用加权法计算出一个共同的 $\bar{a}$ 值：

$$\bar{a}=\frac{n_1\bar{y}_1+n_2\bar{y}_2}{n_1+n_2}-\bar{b}\,\frac{n_1\bar{x}_1+n_2\bar{x}_2}{n_1+n_2} \tag{18—39}$$

当 s_1^2 与 s_2^2 之间有显著性差异时，而用 (18—33) 式检验 b_1 与 b_2 是一致的，即无显著性差异。若两条回归线是重合的，其共同斜率为 b'，则 $a_1=a_2$，即有

$$\bar{y}_1-b'\bar{x}_1=\bar{y}_2-b'\bar{x}_2$$

$$b'=\frac{\bar{y}_1-\bar{y}_2}{\bar{x}_1-\bar{x}_2} \tag{18—40}$$

按误差传递规则，b' 的方差为

$$s_{b'}^2=\frac{1}{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)^2}\left(\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}\right) \tag{18—41}$$

若两条回归线是平行的，斜率 b_1 与 b_2 用加权法由 (18—37) 式求得 $\bar{b}$，$\bar{b}$ 的方差为

$$s_{\bar{b}}^2=\frac{1}{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}{s_1^2}+\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-x_2)^2}{s_2^2}} \tag{18—42}$$

因为（18—40）式中b'是两条回归线重合时的共同斜率，$\bar{b}$是两条回归线平行时的共同斜率。要检验截距a_1与a_2之间是否有显著性差异，只要检验$\bar{b}$与b'之间是否有显著性差异即可，因$\bar{b}$与b'无显著性差异，则a_1与a_2也无显著性差异。检验b'与$\bar{b}$之间是否有显著性差异的统计量为

$$u=\frac{b'-\bar{b}}{\sigma_{(b'-\bar{b})}} \tag{18—43}$$

式中 $\sigma_{(b'-\bar{b})}$值可用$s_{(b'-\bar{b})}$值代替，而b'与$\bar{b}$之差的方差可从（18—41）式和（18—42）式求得。

$$s^2_{(b'-\bar{b})}=\frac{1}{(\bar{x}_1-\bar{x}_2)^2}\left(\frac{s_1^2}{n_1}+\frac{s_2^2}{n_2}\right)+\frac{1}{\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_1}(x_{1i}-\bar{x}_1)^2}{s_1^2}+\dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n_2}(x_{2i}-\bar{x}_2)^2}{s_2^2}} \tag{18—44}$$

用（18—43）式时，f_1与f_2要大于10。u值由标准正态分布表中查出，当u计算值小于给定显著性水平$\alpha/2$下的临界值时，即$|u|\leqslant u_{\alpha/2}$，则$b'$与$\bar{b}$之间无显著性差异。那么$a_1$与$a_2$之间也无显著性差异。反之，则$b'$与$\bar{b}$有显著性差异。

第二节　一元非线性回归分析

分析测试中，也会遇到两个变量不是线性关系，如半对数关系，指数关系等。这些非线性关系通过变换变为线性关系后，则可按一元线性回归分析处理。

1. 半对数关系

$$Y=a+b\lg x \tag{18—45}$$

若令　$X=\lg x$

则（18—45）式就变成了线性方程

$$Y=a+bX \tag{18—45a}$$

2. 指数关系

$$y=ae^{bx} \tag{18—46}$$

若令　$\ln y=Y$，$\ln a=a'$，

则（18—46）式就变成了线性方程，即

$$Y=a'+bx \tag{18—46a}$$

3. 幂函数关系

$$y=ax^b \tag{18—47}$$

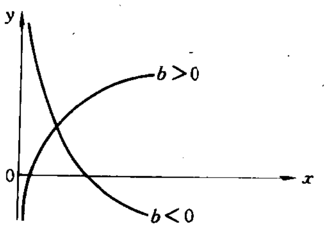
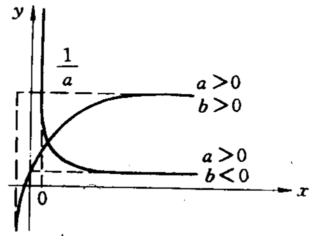
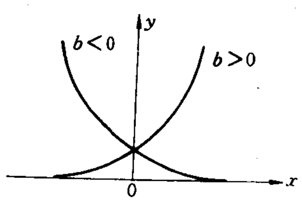
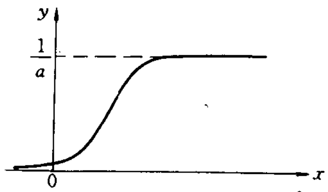
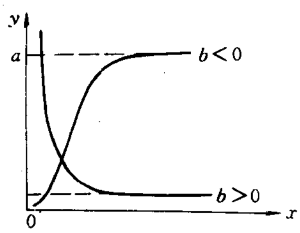
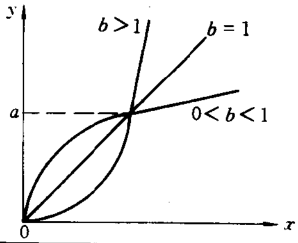
若令　$Y=\lg y$，$X=\lg x$，$a'=\lg a$

则（18—47）式就变成线性方程，即

$$Y=a'+bX \tag{18—47a}$$

还有其他类型的一元非线性函数，它们的变换见表18-2。

表 18-2　一些常见曲线形状的函数关系及直线化关系式

曲线类型	曲线形状	函数关系式	变换方法	线性化关系式
对数曲线		$y=a+b\lg x$	令 $X=\lg x$	$y=a+bX$
双曲线		$\frac{1}{y}=a+\frac{b}{x}$	令 $Y=\frac{1}{y}$ $X=\frac{1}{x}$	$Y=a+bX$
指数函数		$y=ae^{bx}$ (b，或$-b$) $\ln y=\ln a+bx$	令 $Y=\ln y$ $a'=\ln a$	$Y=a'+bx$
s 型函数		$y=\frac{1}{a+be^{-x}}$ 或$\frac{1}{y}=a+be^{-x}$	令 $Y=\frac{1}{y}$ $X=e^{-x}$	$Y=a+bX$
指数函数		$y=ae^{b/x}$(b,或$-b$) 取对数 $\ln y=\ln a+\frac{b}{x}$	令 $Y=\ln y$ $a'=\ln a$ $X=\frac{1}{x}$	$Y=a'+bX$
幂函数		$y=ax^b$ ($b>0$) 取对数 $\lg y=\lg a+b\lg x$	令 $Y=\lg y$ $X=\lg x$ $a'=\lg a$	$Y=a'+bX$

一元非线性关系通过变换得到线性模型后，按一元线性方程进行处理。但在相关性检验时，剩余变差平方和的计算要用（18—10）式

$$Q_e=\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2$$

式中 Y_i 是用回归方程计算得到的与 x_i 对应的响应值。

第三节 多元线性回归分析

一、回归方程的建立

在实际工作中，影响因变量（Y）的自变量（x）往往不止一个，而是多种因素。这就需要用多元线性回归分析。多元线性回归分析的基本原理与一元线性回归分析相同。由于自变量增多，计算较繁复。

如果一个因变量 Y 与 m 个自变量 x_1，x_2，…，x_m 之间有线性关系存在，即为多元线性回归，那么，m 元线性回归方程的一般形式为

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\cdots+b_mx_m \qquad (18—48)$$

式中 b_0 为常数项，b_1，b_2，…，b_m 为偏回归系数。假设在各个因素不同水平下进行 n 次试验，获得的数据如表 18-3。

表 18-3 多元回归试验数据结果

试验号	因素	y
	x_1　x_2 ……… x_m	
1	x_{11}　x_{12} ……… x_{1m}	y_1
2	x_{21}　x_{22} ……… x_{2m}	y_2
⋮	…………………	⋮
n	x_{n1}　x_{n2} ……… x_{nm}	y_n

所得结果为

$$y_1=b_0+b_1x_{11}+b_2x_{12}+\cdots+b_mx_{1m}$$
$$y_2=b_0+b_1x_{21}+b_2x_{22}+\cdots+b_mx_{2m}$$
$$\cdots\cdots$$
$$y_n=b_0+b_1x_{n1}+b_2x_{n2}+\cdots+b_mx_{nm}$$

应用最小二乘法，选择合适的 b_0，b_1，b_2，…，b_m，使测定值 y_k 与回归值 Y_k 的变差平方和 Q

$$Q=\sum_{k=1}^{n}(y_k-Y_k)^2$$
$$=\sum_{k=1}^{n}[y_k-(b_0+b_1x_{k_1}+b_2x_{k_2}+\cdots+b_mx_{km})]^2 \qquad (k=1,2,\cdots,n) \qquad (18—49)$$

达到最小，满足最小的条件为

$$\begin{cases}\dfrac{\partial}{\partial b_0}Q=-2\sum\limits_{k=1}^{n}(y_k-Y_k)=0\\ \dfrac{\partial}{\partial b_j}Q=-2\sum\limits_{k=1}^{n}(y_k-Y_k)x_{kj}=0 \qquad (j=1,2,\cdots,m)\end{cases} \qquad (18—50)$$

或把（18—48）式代入

$$\begin{cases}\sum\limits_{k}^{n}[y_k-(b_0+b_1x_{k1}+b_2x_{k2}+\cdots+b_mx_{km})]=0\\ \sum\limits_{k}^{n}[y_k-(b_0+b_1x_{k1}+b_2x_{k2}+\cdots+b_mx_{km})]x_{kj}=0\end{cases}$$

方程组（18—50）式称为正规方程组，可进一步化为

$$\begin{cases} Nb_0+b_1\sum_k x_{k1}+b_2\sum_k x_{k2}+\cdots+b_m\sum_k x_{km}=\sum_k y_k \\ b_0\sum_k x_{k1}+b_1\sum_k x_{k1}^2+b_2\sum_k x_{k1}x_{k2}+\cdots+b_m\sum_k x_{k1}x_{km}=\sum_k x_{k1}y_k \\ b_0\sum_k x_{k2}+b_1\sum_k x_{k2}x_{k1}+b_2\cdot\sum_k x_{k2}^2+\cdots+b_m\sum_k x_{k2}x_{km}=\sum_k x_{k2}y_k \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_0\sum_k x_{km}+b_1\sum_k x_{km}x_{k1}+b_2\sum_k x_{km}x_{k2}+\cdots+b_m\sum_k x_{km}^2=\sum_k x_{km}y_k \end{cases}$$

显然，正规方程组的系数矩阵是对称矩阵，若用 A 来表示，则 $A=X'X$，因为

$$A=\begin{bmatrix} N & \sum_k x_{a1} & \sum_k x_{a2} & \cdots & \sum_k x_{am} \\ \sum_k x_{k1} & \sum_k x_{k1}^2 & \sum_k x_{k1}x_{k2} & \cdots & \sum_k x_{a1}x_{km} \\ \sum_k x_{k2} & \sum_k x_{k1}x_{k2} & \sum_k x_{k2}^2 & \cdots & \sum_k x_{k2}x_{km} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \sum_k x_{km} & \sum_k x_{k1}x_{km} & \sum_k x_{k2}x_{km} & \cdots & \sum_k x_{km}^2 \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & x_{31} & \cdots & x_{N1} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} & \cdots & x_{N2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{1m} & x_{2m} & x_{3m} & \cdots & x_{Nm} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ 1 & x_{31} & x_{32} & \cdots & x_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{Nm} \end{bmatrix}$$

$$=X'X$$

正规方程(18—50)式右端常数项矩阵 B 亦可用 X 和 Y 表示。

$$B=\begin{bmatrix} \sum_k y_k \\ \sum_k x_{k1}y_k \\ \sum_k x_{k2}y_k \\ \vdots \\ \sum_k x_{km}y_k \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & x_{31} & \cdots & x_{N1} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} & \cdots & x_{N2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{1m} & x_{2m} & x_{3m} & \cdots & x_{Nm} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}=X'Y$$

那么正规方程(18—50)式的矩阵形式是

$$(X'X)b=X'Y \tag{18—51}$$

或

$$Ab=B \tag{18—52}$$

其中

$$b=\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \tag{18—53}$$

是正规方程中未知数。在系数矩阵 A 满秩的条件下，A 的逆矩阵 A^{-1} 存在，则

$$b=A^{-1}B=(X'X)^{-1}X'Y \tag{18—54}$$

只需求出逆矩阵 A^{-1},就算出回归系数,假如设:

$$C=A^{-1}=(C_{ij})=\begin{pmatrix} C_{00} & C_{01} & C_{02} & \cdots & C_{0m} \\ C_{10} & C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1m} \\ C_{20} & C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{m0} & C_{m1} & C_{m2} & \cdots & C_{mm} \end{pmatrix},B=\begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{pmatrix}$$

那么由正规方程求出的解可表示为

$$b_i=C_{i0}B_0+C_{i1}B_1+C_{i2}B_2+\cdots+C_{im}B_m \qquad (i=0,1,2,\cdots,m) \tag{18—55}$$

关于求系数矩阵 A 的逆矩阵 A^{-1}的方法,可参考有关线性代数的书籍。

二、回归方程显著性检验

(一)多元回归方程的线性检验

变量 Y 与 m 个自变量之间的线性相关性检验,采用 F 检验法。检验原假设 $H_0:b_1=b_2=\cdots=b_m=0$。其统计量为

$$F=\frac{Q_{回}/m}{Q_{余}/(n-m-1)}=\frac{Q_{回}}{Q_{余}}\cdot\frac{(n-m-1)}{m} \tag{18—56}$$

式中 $Q_{回}$ 为回归平方和,$Q_{余}$ 为剩余平方和。根据方差分析原理,多元线性回归因变量的离均差平方和可分解为回归平方和与剩余平方和:

$$Q_{总}=Q_{回}+Q_{余} \tag{18—57}$$

$$Q_{总}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2=\sum_{i}^{n}y_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2}{N};f_T=N-1 \tag{18—58}$$

$$Q_{回}=\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2=b'B-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2}{N};f_{回}=m \tag{18—59}$$

$$Q_{余}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2=\sum_{i=1}^{n}y_i^2-\sum_{j=0}^{m}b_jB_j;f_{余}=N-m-1 \tag{18—60}$$

也可按(18—57)计算 $Q_{回}$

$$Q_{回}=Q_{总}-Q_{余}$$

列出方差分析表,见表 18-4。

表 18-4 多元线性回归方差分析表

平方和来源	平方和	自由度	均方和	F 值	$F_{\alpha,f_{回},f_{余}}$
回归	$Q_{回}=\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2=\sum_{j=0}^{m}b_jB_j$	$f_{回}=m$	$s_{回}^2=\frac{Q_{回}}{f_{回}}$	$F=\frac{s_{回}^2}{s_{余}^2}$	
剩余	$Q_{余}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-Y_i)^2=Q_{总}-Q_{回}$	$f_{余}=N-m-1$	$s_{余}^2=\frac{Q_{余}}{f_{余}}$		
总和	$Q_{总}=\sum_{i=1}^{n}y_i^2-\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2$	$f_T=N-1$			

(二)偏回归系数的显著性检验

多元线性回归方程经上述检验后,若拒绝 H_0,也就是 y 与 x_j 有线性关系时,应进一步检验因变量 Y 与每一个自变量 x_j 之间是否均有线性关系,还是部分有线性关系。因此,必须分

别对每个偏回归系数进行检验。提出的原假设检验 H_0：$B_j=0$。假设检验方法用 t 检验法，统计量 t 为

$$t_j=\frac{b_j}{\sqrt{C_{jj}\cdot Q_{余}/(N-m-1)}}=\frac{b_j}{s_{Y\cdot 12\cdots m}\sqrt{C_{jj}}};\quad j=1,2,\cdots,m \tag{18—61}$$

式中 $s_{Y\cdot 12\cdots m}=\sqrt{Q_{余}/(N-m-1)}$，是多元线性回归方程的剩余标准偏差，$C_{jj}$是 A 的逆矩阵 C 中主对角线上第 j 行 j 列的元素。

在所算得 m 个 t_j 中，凡小于临界值 $t_{\alpha,(N-m-1)}$（查 t 分布表），相应的偏回归系数可认为无显著性，表示相应的 x_j 与因变量 Y 无线性关系，应把 x_j 从方程中剔除。然后重新建立新的回归方程，再对新的回归系数逐个进行检验，直到余下的回归系数都呈显著性时为止。

偏回归系数的显著性检验也可用 F 检验，其统计量

$$F_j=\frac{b_j^2/C_{jj}}{Q_{余}/(N-m-1)} \tag{18—62}$$

式中符号与（18—61）式具有相同的意义，当计算 F_j 值小于给定显著性水平 α 和自由度（$f_u=1$，$f_e=N-m-1$）F 临界值时，相应的偏回归系数可认为不显著，以下按 t 检验法处理。

第十九章　试验设计方法

第一节　正交试验设计

一、正　交　表

正交表是正交试验的基础，正交表的符号为

$$L_n(t^p)\text{或}L_n(t^p\times t'^{p'})$$

其中 L 表示正交表，n 表示正交试验的次数，t 表示因素的水平数，p 表示试验因素数。前者为单一水平正交表，后者为混合水平正交表。所用正交表见表 19-1，由正交表安排试验具有以下 3 个特点：

（1）从正交表的排列来看，每个因素中不同水平出现次数相同，任意两因素之间不同水平都要进行搭配，搭配的次数相同，这就是正交表的均衡分散性。

（2）由正交表安排的试验，试验次数少。

（3）由正交表获得的结果具有整齐可比性。

表 19-1　正交表

（1）二水平表

①L_4（2^3）

试验号＼列号	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

②L_8（2^7）

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

L_8（2^7）二列间的交互作用

列号＼列号	1	2	3	4	5	6	7
	(1)	3	2	5	4	7	6
		(2)	1	6	7	4	5
			(3)	7	6	5	4
				(4)	1	2	3
					(5)	3	2
						(6)	1
							(7)

续表

L_8（2^7）表头设计

因素数 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7
3	A	B	$A\times B$	C	$A\times C$	$B\times C$	
4	A	B	$A\times B$ $C\times D$	C	$A\times C$ $B\times D$	$B\times C$ $A\times D$	D
4	A	B $C\times D$	$A\times B$	C $B\times D$	$A\times C$	D $B\times C$	$A\times D$
5	A $D\times E$	B $C\times D$	$A\times B$ $C\times E$	C $B\times D$	$A\times C$ $B\times E$	D $A\times E$ $B\times C$	E $A\times D$

③L_{12}（2^{11}）

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

④L_{16}（2^{15}）

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

L_{16}（2^{15}）两列间的交互列

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	列号
(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14	1
	(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13	2
		(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12	3
			(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11	4
				(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10	5
					(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9	6
						(7)	15	14	13	12	11	10	9	8	7
							(8)	1	2	3	4	5	6	7	8
								(9)	3	2	5	4	7	6	9
									(10)	1	6	7	4	5	10
										(11)	7	6	5	4	11
											(12)	1	2	3	12
												(13)	3	2	13
													(14)	1	14
														(15)	15

（2）三水平表

①L_9(3^4)

试验号 \ 列号	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	2	2	1

注：任意两列间的交互列是另外二列。

续表

②$L_{27}(3^{13})$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	2	3	2	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	3	1	3	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	1	2	1	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	3	2	3	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	1	3	1	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	2	3	3	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	3	1	1	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	2	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	3	2	1	1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	1	3	2	2
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	2	1	3	3
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	1	1	2	3
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	2	2	3	1
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	3	3	1	2
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	3	2	2	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	1	3	3	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	2	1	1	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	1	1	3	2
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	2	2	1	3
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	2	3	1	1
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	3	1	2	2
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	1	2	3	3

$L_{27}(3^{13})$两列间的交互列

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	列 号
(1)	3	2	2	6	5	5	10	11	8	9	8	9	1
	4	4	3	7	7	6	12	13	12	13	10	11	
	(2)	1	1	8	10	11	5	5	6	7	7	6	2
		4	3	9	13	12	9	8	13	12	11	10	
		(3)	1	10	9	8	7	6	5	5	6	7	3
			2	11	12	13	13	12	11	10	9	8	
			(4)	12	8	9	6	7	7	6	5	5	4
				13	11	10	11	10	9	8	13	12	
				(5)	1	1	2	2	3	3	4	4	5
					7	6	9	8	11	10	13	12	
					(6)	1	4	3	2	4	3	2	6
						5	11	12	13	8	9	10	
						(7)	3	4	4	2	2	3	7
							13	10	9	12	11	8	
							(8)	2	1	4	1	3	8
								5	12	6	10	7	
								(9)	4	1	3	1	9
									7	13	6	11	
									(10)	3	1	2	10
										5	8	6	
										(11)	2	1	11
											7	9	
											(12)	4	12
												5	
												(13)	13

(3)四水平表

$L_{16}(4^5)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

注:任两列的交互列是另外三列

(4)五水平表

$L_{25}(5^6)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4	5

续表

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6
7	2	2	3	4	5	1
8	2	3	4	5	1	2
9	2	4	5	1	2	3
10	2	5	1	2	3	4
11	3	1	3	5	2	4
12	3	2	4	1	3	5
13	3	3	5	2	4	1
14	3	4	1	3	5	2
15	3	5	2	4	1	3
16	4	1	4	2	5	3
17	4	2	5	3	1	4
18	4	3	1	4	2	5
19	4	4	2	5	3	1
20	4	5	3	1	4	2
21	5	1	5	4	3	2
22	5	2	1	5	4	3
23	5	3	2	1	5	4
24	5	4	3	2	1	5
25	5	5	4	3	2	1

注：任两列的交互列是另外四列

(5)混合水平表

①$L_8(4\times2^4)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

$L_8(4\times2^4)$表头设计

因子数＼列号	1	2	3	4	5
2	A	B	$(A\times B)_1$	$(A\times B)_2$	$(A\times B)_3$
3	A	B	C		
4	A	B	C	D	
5	A	B	C	D	E

②$L_{12}(3\times2^4)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2
3	1	2	2	1	2
4	1	2	2	2	1
5	2	1	2	1	1
6	2	1	2	2	2
7	2	2	1	1	1
8	2	2	1	2	2
9	3	1	2	1	2
10	3	1	1	2	1
11	3	2	1	1	2
12	3	2	2	2	1

③$L_{12}(6\times2^2)$

试验号＼列号	1	2	3
1	2	1	1
2	5	1	2
3	5	2	1
4	2	2	2
5	4	1	1
6	1	1	2
7	1	2	1
8	4	2	2
9	3	1	1
10	6	1	2
11	6	2	1
12	3	2	2

续表

④$L_{16}(4^2\times2^9)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1
5	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2
6	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1
7	2	3	2	1	1	1	2	2	2	1	1
8	2	4	2	1	1	2	1	1	1	2	2
9	3	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2
10	3	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1
11	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1
12	3	4	1	2	1	1	2	1	2	1	2
13	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1
14	4	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2
15	4	3	1	1	2	2	2	1	1	1	2
16	4	4	1	1	2	1	1	2	2	2	1

⑤$L_{16}(4^2\times2^{12})$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	3	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	3	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	3	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	4	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	4	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	4	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	4	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

⑥$L_{16}(4^3\times2^6)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	1	1	2	2	2	2
3	1	3	3	2	2	1	1	2	2
4	1	4	4	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	2	2	1	2	1	2
6	2	2	1	2	2	2	1	2	1
7	2	3	4	1	1	1	2	2	1
8	2	4	3	1	1	2	1	1	2
9	3	1	3	1	2	2	2	2	1
10	3	2	4	1	2	1	1	1	2
11	3	3	1	2	1	2	2	1	2
12	3	4	2	2	1	1	1	2	1
13	4	1	4	2	1	2	1	2	2
14	4	2	3	2	1	1	2	1	1
15	4	3	2	1	2	2	1	1	1
16	4	4	1	1	2	1	2	2	2

⑦$L_{16}(4^4\times2^3)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	1	2	2
3	1	3	3	3	2	1	2
4	1	4	4	4	2	2	1
5	2	1	2	3	2	2	1
6	2	2	1	4	2	1	2
7	2	3	4	1	1	2	2
8	2	4	3	2	1	1	1
9	3	1	3	4	1	2	2
10	3	2	4	3	1	1	1
11	3	3	1	2	2	2	1
12	3	4	2	1	2	1	2
13	4	1	4	2	2	1	2
14	4	2	3	1	2	2	1
15	4	3	2	4	1	1	1
16	4	4	1	3	1	2	2

⑧$L_{16}(8\times2^8)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	3	1	1	2	2	1	1	2	2
6	3	2	2	1	1	2	2	1	1
7	4	1	1	2	2	2	2	1	1
8	4	2	2	1	1	1	1	2	2
9	5	1	2	1	2	1	2	1	2
10	5	2	1	2	1	2	1	2	1
11	6	1	2	1	2	2	1	2	1
12	6	2	1	2	1	1	2	1	2
13	7	1	2	2	1	1	2	2	1
14	7	2	1	1	2	2	1	1	2
15	8	1	2	2	1	2	1	1	2
16	8	2	1	1	2	1	2	2	1

续表

⑨$L_{18}(2\times3^7)$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

⑩$L_{18}(6\times3^6)$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	1
6	2	3	3	1	1	2	2
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	1
9	3	3	1	3	2	1	2
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

⑪$L_{20}(5\times2^8)$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	2	2	1	1	1	1
4	1	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	1	2	1	2	1	1	1	2
6	2	1	2	2	1	1	2	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	2	1	2	1	2	2	1	2
9	3	1	1	2	1	1	1	2	2
10	3	1	2	2	2	2	2	1	1
11	3	2	1	1	2	1	2	2	1
12	3	2	2	1	1	2	1	1	2
13	4	1	1	2	2	1	2	1	2
14	4	1	2	1	2	2	1	2	2
15	4	2	1	2	1	2	1	1	1
16	4	2	2	1	1	1	2	2	1
17	5	1	1	1	2	2	2	1	1
18	5	1	2	2	1	2	1	2	1
19	5	2	1	2	2	1	1	2	2
20	5	2	2	1	1	1	2	1	2

⑫$L_{24}(3\times4\times2^4)$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	1	2	2
3	1	3	1	2	2	1
4	1	4	1	2	1	2
5	1	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	1	1
7	1	3	2	1	1	2
8	1	4	2	1	2	1
9	2	1	1	1	1	2
10	2	2	1	1	2	1
11	2	3	1	2	2	2
12	2	4	1	2	1	1
13	2	1	2	2	2	1
14	2	2	2	2	1	2
15	2	3	2	1	1	1
16	2	4	2	1	2	2
17	3	1	1	1	1	2
18	3	2	1	1	2	1
19	3	3	1	2	2	2
20	3	4	1	2	1	1
21	3	1	2	2	2	1
22	3	2	2	2	1	2
23	3	3	2	1	1	1
24	3	4	2	1	2	2

⑬$L_{20}(10\times2^2)$

试验号 \ 列号	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1
5	3	1	1
6	3	2	2

续表

试验号＼列号	1	2	3	试验号＼列号	1	2	3
7	4	1	2	14	7	2	2
8	4	2	1	15	8	1	2
9	5	1	1	16	8	2	1
10	5	2	2	17	9	1	1
11	6	1	2	18	9	2	2
12	6	2	1	19	10	1	2
13	7	1	1	20	10	2	1

⑭$L_{24}(6\times4\times2^3)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	试验号＼列号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	2	13	4	1	2	2	2
2	1	2	1	2	1	14	4	2	2	1	1
3	1	3	2	2	2	15	4	3	1	1	2
4	1	4	2	1	1	16	4	4	1	2	1
5	2	1	2	2	1	17	5	1	1	1	1
6	2	2	2	1	2	18	5	2	1	2	2
7	2	3	1	1	1	19	5	3	2	2	1
8	2	4	1	2	2	20	5	4	2	1	2
9	3	1	1	1	1	21	6	1	2	2	2
10	3	2	1	2	2	22	6	2	2	1	1
11	3	3	2	2	1	23	6	3	1	1	2
12	3	4	2	1	2	24	6	4	1	2	1

⑮$L_{24}(12\times2^{12})$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	4	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	5	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	6	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	7	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	8	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	9	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	10	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	11	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	12	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
13	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
15	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
16	4	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1
17	5	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2
18	6	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2
19	7	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2
20	8	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1
21	9	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2
22	10	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1
23	11	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1
24	12	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2

二、正交试验设计步骤

(1)确定考核指标。在试验开始前要详细查阅已有资料文献，在总结前人的试验基础上，确定试验目的，订出考核指标。

(2)制定试验因素和水平。在全面分析的基础上，选择因素、水平。尽可能把影响试验结果的所有因素安排在试验中，尤其是重要因素决不能漏掉。

(3)选择正交表，确定试验方案。根据因素水平数选择最合适的正交表，如有的因素需要重

点考察，可选择混合正交表。如果试验条件需要进一步优化，一般都选用相同水平的正交表。通常所选用正交表最好留下一空列，以便在方差分析中，计算试验误差 Q_e 用。当因素之间有交互效应时，最好进行重复试验，以便准确地估计试验误差。正交表选定之后，因素按序上列，水平对号入座，横向作试验，详细列出每一个试验的条件。

(4)严格按照试验条件做好试验。精密的试验，可靠的数据是统计分析的基础，没有列入表中的因素必须保持恒定不变。仪器要校正，测量准确。并把测定结果填入正交表。

三、正交试验结果分析

1. 数据的直观分析　根据考核指标，把测试结果最好的试验条件列出。

2. 计算每个因素的极差(R)值

$$R_j = T_{sj}\text{中最大值} - \text{最小值} \qquad j=1,2,\cdots,p; s=1,2,\cdots,n_s$$

其中 T_{sj} 表示每个因素(列)中相同水平测定值之和，s 表示因素的水平数。由于正交表的整齐可比性，可以比较各个因素的 R 值。其中 R 值大的可认为是重要因素；R 值小的为次要因素。当水平数不同时，应对平均值进行比较，以确定因素效应的相对大小。

3. 作趋势图　对于三水平以上的各个因素，以试验指标值(测定值)的平均值(或和值)与对应的因素水平作图。

4. 数据的方差分析　方差分析的基础是总变差平方和可以分解为各因素的变差平方和。正交表已将总偏差平方和分解到正交表的每一列的因素上。没有安排因素的列，其平方和反映了试验误差。每个因素的自由度等于水平数减 1。用 F 检验各因素的作用，由于正交试验中，误差效应的自由度常常比较小，当 $f_e<5$ 时，显著性水平从 5%提高到 10%。

总变差平方和等于各列变差平方和之和

$$Q_{总} = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_{空} = \sum_{j=1}^{p} Q_j + Q_{空} \quad (j=1,2,\cdots,p) \tag{19-1}$$

$$f_{总} = f_1 + f_2 + \cdots + f_{空} = \sum_{j=1}^{p} f_j + f_{空}$$

式中 $Q_{总}$ 表示总变差平方和；$Q_1, Q_2, \cdots$ 为正交表中第一、二、…列，即相应于因素 1,2,…的平方和；$Q_{空}$ 为空列，即试验误差平方和 Q_e。当试验数据没有重复测定时，最好留一空列，计算试验误差平方和，f 为相应的自由度。而

$$Q_{总} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{r=1}^{k} x_{ir}^2 - \frac{1}{n\cdot k}\Big(\sum_{i=1}^{n}\sum_{r=1}^{k} x_{ir}\Big)^2 \tag{19-2}$$

$$Q_j = \frac{n_{sj}}{n\cdot k}\sum_{s=1}^{n_{sj}} T_{sj}^2 - \frac{1}{n\cdot k}\Big(\sum_{i=1}^{n}\sum_{r=1}^{k} x_{ir}\Big)^2 \tag{19-3}$$

$$Q_e = Q_{总} - \sum_{j=1}^{p} Q_j \tag{19-4}$$

式中　$i=1,2,\cdots,n$ 为试验次数；$r=1,2,\cdots,k$ 为试验重复测定次数，x_{ir} 为测定数据，n_{sj} 为第 j 因素的水平数，T_{sj} 为第 j 个因素同一水平的测试数据之和。各因素的自由度计算为

$$f_T = n\cdot k - 1$$

$$f_j = n_{sj} - 1$$

$$f_e = f_T - \sum_{j=1}^{p} f_j$$

如果 $k=1$，则为无重复测定。

F 检验的统计量为

$$F_j=\frac{Q_j/f_j}{Q_e/f_e} \tag{19-5}$$

求出 F_j 值，根据给定的显著性水平 α 和自由度，查 F 分布表，得 $F_{(\alpha,f_j,f_e)}$ 临界值。当 $F_j>F_{(\alpha,f_j,f_e)}$ 时，说明 j 因素对试验结果有显著影响，必须严格控制。反之，该因素无显著影响，对于无显著影响的因素不必严加控制。然后列出方差分析表。

最后，根据数据处理结果，指出哪些是重要因素，哪些是次要因素及各因素的最佳水平，获得最优试验条件。

四、有交互效应的正交试验设计

如果试验中存在两个或两个以上因素时，因素之间通常总是或多或少地存在着交互作用。有时没有考虑因素之间的交互作用，是因为与其他作用比较，它们的交互作用很小，或可以忽略不计。当因素之间有交互效应时，正交试验的表头如何设计？

把交互效应作为一个因素，例如有 A、B、C 三个因素，如果考虑交互效应则有 $A\times B$，$A\times C$，$B\times C$ 及 $A\times B\times C$。如 $A\times B$ 等为因素 A 与 B 之间的交互效应，是一级交互效应；$A\times B\times C$ 表示因素 A、B、C 之间的二级交互效应。这样，原为三个因素的试验，应作为七个因素来考虑选择正交表。

对于有交互效应存在的正交试验表头设计，可选用有交互效应的正交表；也可选用有交互效应的表头设计表安排试验，确定因素上列的顺序。其他步骤按前面所述进行。

第二节　单纯形优化法

单纯形优化法是一种多因素优化法，不受因素限制，因素增多试验次数并不增多。单纯形法与正交试验和均匀设计法不同，试验点是根据试验情况逐步调整到最优条件，是一种动态调优方法。

一、基本单纯形调优法原理

单纯形是指多维空间中的一种凸图形，它的顶点数仅比空间的维数多 1。在二因素空间中单纯形是一个三角形，三因素空间的单纯形为一个四面体，n 个因素空间的单纯形则由 $n+1$ 个点构成超多面体。空间多面体各顶点就是试验点。比较各试验点的结果，去掉最坏的试验点，取其对称点作为新的试验点，该点称为“反射点”。新试验点与剩下的几个试验点又构成新的单纯形，新单纯形向最佳目标点靠近。如此不断地向最优方向调整，最后找出最优目标点。

单纯形调优过程如下：

(1)确定考核指标　确定的考核指标，应是数量化的，可精确测定的。

(2)选择因素与步长　因素应是体系中的独立变量。主要因素首先排入。选择因素的步长时应先根据因素所处的条件，确定因素的上下限。在上下限之内选择步长的大小。步长取值大，优化速度快，但精密度差。步长取值小，精密度好，但调优速度慢，试验量大，成本高。因此，步长要适中，既考虑到一定精度，也保证一定速度。

(3)建立初始单纯形　根据各因素试验范围，由每个因素的初始点和步长建立初始单纯形，通常十个以下因素，可利用 Long 系数表建立初始单纯形，见表 19-2。若建立($n+1$)个点的初始单纯形，将表中对应的系数值乘以该因素的步长后，再加到初始点的坐标上，即可建立初

始单纯形。也可用其他方法，如通过计算或查阅均匀设计表等来建立初始单纯形。

表 19-2 Long 系数表

顶点	因素									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.500	0.866	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.500	0.289	0.817	0	0	0	0	0	0	0
5	0.500	0.289	0.204	0.791	0	0	0	0	0	0
6	0.500	0.289	0.204	0.158	0.775	0	0	0	0	0
7	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.764	0	0	0	0
8	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.756	0	0	0
9	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.750	0	0
10	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.083	0.745	0
11	0.500	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109	0.094	0.083	0.750	0.742

(4)确定新试验点　初始单纯形建立之后，按照$(n+1)$顶点的试验条件，进行试验，比较$(n+1)$顶点测定结果，找出最差点j即为去掉的点。使单纯形向前推进。新试验点(即$n+2$)的计算方法为

$$\text{新试验点}=\frac{2}{n}\sum_{\substack{i=1\\i\neq j}}^{n+1}(\text{单纯形各试验点})-[\text{最差点 } j] \tag{19—6}$$

在单纯形推进过程中，有时出现新试验点的响应值为最差的情况，如果取其反射点，就又回到前面的单纯形，这样就出现单纯形来回“摆动”，无法继续向前推进。在此情况下，应以去掉单纯形中次差点代替去掉的最差点(即保留最差点，去掉次差点)，使单纯形继续推进。

(5)单纯形的收敛性　在单纯形优化过程中，应经常考查试验结果(或称响应值)是否达到要求，这在数理统计中称为收敛性检验。例如在n个因素的单纯形中，若有一个点经$n+1$个单纯形推进中仍未被淘汰，一般可以在此点收敛。但这种检验方法没有考虑试验误差的存在。根据数理统计，单纯形的收敛准则为

$$\frac{|R(B)-R(W)|}{R(B)}<\varepsilon \tag{19—7}$$

式中$R(B)$和$R(W)$分别表示单纯形中最好点和最差点的响应值；ε为收敛系数。当(19—7)式成立时，单纯形就停止推进，即单纯形达到收敛点，此时单纯形中最好点就是所要寻找的最佳条件。

单纯形收敛判别式也可采用

$$\frac{\sum_{i=1}^{n+1}|R(\mu_i)-\overline{R}|}{\overline{R}}<\varepsilon \tag{19—8}$$

式中　$\overline{R}=\frac{1}{n+1}\sum_{i=1}^{n+1}R(\mu_i)$

$R(\mu)$为该单纯形目标函数值。或

$$\sum_{i=1}^{n+1}[R(P_i)-R(B)]^2<\varepsilon \tag{19—9}$$

式中$R(P_i)$为最差顶点P_i的响应值；$R(B)$为最好点的响应值。

二、改进单纯形调优法

基本单纯形利用对称原理,把去掉的最差点作等距离反射求出新的试验点,经过多次反射后,找出最优化条件。改进单纯形法是在基本单纯形的基础上,根据试验结果,调整反射的距离,用"反射"、"扩大"、"收缩"或整体收缩的方法,加速优化过程,同时又达到一定的精度要求。改进单纯形新试验点的计算方法为

$$〔新试验点〕=\frac{1+B}{n}\cdot\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{n+1}(单纯形各顶点)-B\cdot〔最差点\ j〕\qquad(19—10)$$

式中 B 为单纯形推进系数,n 为优化的因素数。

B 的取值有以下几种可能性:

(1)若 $B=1$,此时(19—10)式与(19—6)式相同,新试验点即为反射点,按基本单纯形推进。

(2)如果反射点在新的单纯形中是最好的点,说明反射方向正确,可以沿 ad 方向进一步搜索(见图 19—1),此时 B 的取值大于 1。如 $B=2$,称为扩大,用(19—10)式计算新试验点,如果扩大到 e,e 点的结果好于 d 点,则"扩大"成功,用 e 点代替 d 点,构成 bce 单纯形。反之,e 点的结果不如 d 点,则"扩大"失败,仍采用 d 点,构成 bcd 单纯形进行比较。

(3)如果 d 点在新的单纯形中是最坏点,但比 a 点好,这时取 $B<1$(在 $0<B<1$,取 $B=0.5$)称为"收缩",新的试验点仍按(19—10)式计算,为 f 点,它与留下的点构成新的单纯形 bcf。如果 d 点的结果比 a 点还差,这时采用"内收缩"的方法,此时 $B<0$(如取 $B=-0.5$),用(19—10)式计算新试验点,得 g 点,构成新的单纯形 bcg。

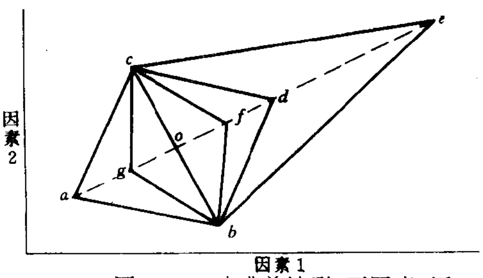


图 19-1 改进单纯形(两因素)图

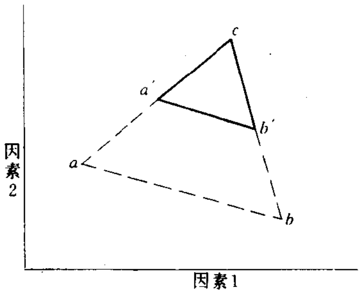


图 19-2 整体收缩(两因素)图

(4)"整体收缩"。如果在 ad 方向上所有点的结果均比 a 点差(图 19-1),则不能沿此方向搜索,这时采用"整体收缩"。"整体收缩"是以原单纯形中最好点为基点,如图 19-2 以 c 点为最好点。基点(c 点)到其他各点的距离的一半为新点,由此构成新的单纯形 $a'b'c$,再比较各点的结果,使单纯形向前推,达到调优目标。

关于单纯形调优法,近来有很多改正及提出新的设计方法,请参阅有关文献。

第三节 均匀设计试验法

均匀设计试验法是基于试验点在整个试验范围内均衡分散的一种优化方法。当所研究的因素和水平数目较多时,均匀设计试验与其他试验设计方法相比,所需的试验次数更少。它是从全面试验点中挑出具有代表性的少数试验点,然而仍能得到反映分析体系主要特征的试验结果。

一、均匀设计表

均匀设计表是均匀设计试验法的依据，其符号为

$$U_n(t^p)$$

其中 U 表示均匀设计表；n 为试验次数；t 为因素水平数，p 表示因素数。均匀设计表见表 19-3。如 $U_9(9^6)$ 均匀设计表，表示 6 因素 9 水平做 9 次试验。本节的最后列出水平数为奇数的均匀设计表（试验次数也为奇数）。当水平数偶数时，选用比它大 1 的奇数表，划去最后一行即为偶数表。如要安排 6 因素 8 水平的试验，可选用 $U_9(9^6)$ 均匀设计表，划去最后一行，即得 $U_8(8^6)$ 均匀设计表。

均匀设计表（U 表）的使用。与正交表不同，均匀设计表中的各列是不平等的。每一次试验取哪些列，与因素数有关，因此，每一张均匀设计表，均附有一张使用表，用于说明有几个因素，该使用均匀设计表中的哪几列。例如二因素 7 水平的试验，应选用 $U_7(7^6)$ 表，表中共 6 列，根据使用表，二因素应取 1、3 二列安排试验，如有四因素，应取 1、2、3、6 列进行试验。另外，由于用均匀设计表安排试验，试验次数太少，因此试验误差较大，为了减少误差，可选用试验次数较多的 U 表安排试验。

表 19-3 均匀设计表

(1) $U_5(5^4)$

试验号＼列号	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	1	3
3	3	1	4	2
4	4	3	2	1
5	5	5	5	5

$U_5(5^4)$ 表的使用

因素数	列号			
2	1	2		
3	1	2	4	
4	1	2	3	4

(2) $U_7(7^6)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	2	4	6	1	3	5
3	3	6	2	5	1	4
4	4	1	5	2	6	3
5	5	3	1	6	4	2
6	6	5	4	3	2	1
7	7	7	7	7	7	7

$U_7(7^6)$ 表的使用

因素数	列号					
2	1	3				
3	1	2	3			
4	1	2	3	6		
5	1	2	3	4	6	
6	1	2	3	4	5	6

(3) $U_9(9^6)$

试验号＼列号	1	2	3	4	5	6
1	1	2	4	5	7	8
2	2	4	8	1	5	7
3	3	6	3	6	3	6
4	4	8	7	2	1	5
5	5	1	2	7	8	4
6	6	3	6	3	6	3
7	7	5	1	8	4	2
8	8	7	5	4	2	1
9	9	9	9	9	9	9

$U_9(9^6)$ 表的使用

因素数	列号					
2	1	3				
3	1	3	5			
4	1	2	3	5		
5	1	2	3	4	5	
6	1	2	3	4	5	6

续表

(4) $U_{11}(11^{10})$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2	4	6	8	10	1	3	5	7	9
3	3	6	9	1	4	7	10	2	5	8
4	4	8	1	5	9	2	6	10	3	7
5	5	10	4	9	3	8	2	7	1	6
6	6	1	7	2	8	3	9	4	10	5
7	7	3	10	6	2	9	5	1	8	4
8	8	5	2	10	7	4	1	9	6	3
9	9	7	5	3	1	10	8	6	4	2
10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

$U_{11}(11^{10})$表的使用

因素数	列号									
2	1	7								
3	1	5	7							
4	1	2	5	7						
5	1	2	3	5	7					
6	1	2	3	5	7	10				
7	1	2	3	4	5	7	10			
8	1	2	3	4	5	6	7	10		
9	1	2	3	4	5	6	7	9	10	
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(5) $U_{13}(13^{12})$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	2	4	6	8	10	12	1	3	5	7	9	11
3	3	6	9	12	2	5	8	11	1	4	7	10
4	4	8	12	3	7	11	2	6	10	1	5	9
5	5	10	2	7	12	4	9	1	6	11	3	8
6	6	12	5	11	4	10	3	9	2	8	1	7
7	7	1	8	2	9	3	10	4	11	5	12	6
8	8	3	11	6	1	9		12	7	2	10	5
9	9	5	1	10	6	2	11	7	3	12	8	4
10	10	7	4	1	11	8	5	2	12	9	6	3
11	11	9	7	5	3	1	12	10	8	6	4	2
12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

$U_{13}(13^{12})$表的使用

因素数	列号											
2	1	5										
3	1	3	4									
4	1	6	8	10								
5	1	6	8	9	10							
6	1	2	6	8	9	10						
7	1	2	6	8	9	10	12					
8	1	2	6	7	8	9	10	12				
9	1	2	3	6	7	8	9	10	12			
10	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12		
11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

(6) $U_{15}(15^8)$

试验号 \ 列号	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	4	7	8	11	13	14
2	2	4	8	14	1	7	11	13
3	3	6	12	6	9	3	9	12
4	4	8	1	13	2	14	7	11
5	5	10	5	5	10	10	5	10
6	6	12	9	12	3	6	3	9
7	7	14	13	4	11	2	1	8
8	8	1	2	11	4	13	14	7
9	9	3	6	3	12	9	12	6
10	10	5	10	10	5	5	10	5
11	11	7	14	2	13	1	8	4
12	12	9	3	9	6	12	6	3
13	13	11	7	1	14	8	4	2
14	14	13	11	8	7	4	2	1
15	15	15	15	15	15	15	15	15

续表

$U_{15}(15^8)$表的使用

因素数	列号								因素数	列号							
2	1	6							6	1	2	3	4	6	8		
3	1	3	4						7	1	2	3	4	6	7	8	
4	1	3	4	7					8	1	2	3	4	5	6	7	8
5	1	2	3	4	7												

二、均匀设计法试验安排

均匀设计进行试验的步骤，与正交试验设计的步骤类似：

(1)确定考核指标。

(2)确定研究因素水平。

(3)选择均匀设计表。应根据研究的因素和试验次数来选用。由于均匀设计试验次数少水平多，试验结果没有整齐可比性，试验结果不能采用方差分析法。通常用多元回归分析或逐步回归分析法。由于在分析测试中情况复杂，在考虑因素与响应值之间的线性关系之外，还必须考虑非线性关系及因素之间的交互作用：

$$Y=b_0+\sum_{i=1}^{p}b_ix_i+\sum_{\substack{i=1\\j=i}}^{T}b_Tx_ix_j+\sum_{j=1}^{p}b_ix_i^2 \tag{19—11}$$

$$T=C_p^2=\frac{p(p-1)}{2}$$

式中 p 为因素数；x_ix_j 为因素的交互效应；x_i^2 为因素的二次项的影响。这样，回归方程的系数项总计为

$$m=p+p+\frac{p(p-1)}{2}$$

根据 m 的大小，确定选用 U 表。在最后确定选用 U 表时，尽可能结合专业知识删去那些无关或影响小的因素，特别是那些交互效应项和高次方(x_i^2)项尽可能从方程中删去，以简化繁杂的计算。

(4)制定因素水平表。根据均匀设计表的使用表，因素按序上列，水平对号入座，横向作试验。

(5)严格按照均匀设计表列出的条件，进行试验。准确、精密测量每一结果。

三、数据处理、优化试验条件

(1)试验结果的直观分析。对测定结果进行初步比较，可以观察到好的试验条件的趋势。

(2)根据目标函数，解回归方程。

(3)优化试验条件。回归方程反映了各因素对响应值的统计关系，通常是把回归系数标准化(即 $bi\cdot\sqrt{I_{xx}/I_{yy}}$)。直接从回归系数的值看出某因素对响应值的影响，一般来说标准回归系数大的值，对响应值影响也大。而回归方程的极值点对应的试验条件就是所要求的最佳条件。

第二十章　测试数据统计处理计算机程序

第一节　数 据 整 理

一、数 据 排 序

（一）互换法排序

将排序的数据用置数语句（READ，DATA）放在程序的最后，N 为数据个数，如将 20 句改为 INPUT 语句。数据个数 N，可从键盘输入（在 DATA 中要删去 N）。本程序将获得从小到大的数据排列。如将 70 句中“＞”改为“＜”即可获得从大到小的排列。见程序 20.1

程序 20.1
```
20  REM ADJUSTMENT OF DATA
30  READ N
40  DIM A(N)
50  FOR I=1 TO N : READ A(I) : NEXT I
60  FOR I=1 TO N-1
70  FOR J=I+1 TO N
80  IF A(J)>=A(I) THEN 100
90  M=A(I) : A(I)=A(J) : A(J)=M
100  NEXT J : NEXT I
110  FOR I=1 TO N : PRINT A(I);"  "; : NEXT I
120  END
130  DATA
```

（二）下沉法排序

此法可视为互换法进一步改正，其要点是依次比较相邻的元素，比较后如需要就立即进行互换。如此重复比较，至使数组中各元素的次序完全排好。见程序 20.2。

程序 20.2
```
20  REM ADJUSTMENT OF DATA
25  READ N : NO=N
30  DIM A(N)
40  FOR I=1 TO N : READ A(I) : NEXT I
50  T=0
60  FOR I=1 TO N-1
70  IF A(I+1)>=A(I) THEN 90
80  B=A(I) : A(I)=A(I+1) : A(I+1)=B : T=1
90  NEXT I
100  FOR I=1 TO NO : PRINT A(I); : NEXT I : PRINT
110  IF T=1 THEN N=N-1 : GOTO 50
120  FOR I=1 TO NO : PRINT A(I); : NEXT I : PRINT
```

```
130  END
140  DATA
```

N 为数据个数，放在 DATA 中。DATA 语句排列：DATA n，x_1，$\cdots x_n$

二、样本均值、标准偏差和相对标准偏差

样本均值 $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i$；样本标准偏差 $s=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$

相对标准偏差：$s_d=\frac{s}{\bar{x}}$

程序中用递推算法，所用递推公式为

$$\bar{x}_i=\bar{x}_{i-1}\frac{1}{i}(x_i-\bar{x}_{i-1})；\quad s_i^2=\frac{i-1}{i}\left[s_{i-1}^2+\frac{1}{i}(x_i-\bar{x}_{i-1})^2\right]$$

见程序 20.3。

程序 20.3

```
20   REM MEAN VALVE STANDARD DEVIATION AND RELATIVE S.
     D.
30   INPUT"NUMBERS OF DATA N=";N
40   X=0 : S=0
50   FOR I=1 TO N
60   READ A
70   S=(I-1)/I * (S+(A-X) * (A-X)/I) : X=X+(A-X)/I
80   NEXT I
85   S1=SQR(S * N/(N-1))
90   PRINT "M=";X : PRINT "S. D. =";S1 : PRINT"R. SD. =";S1/X
100  END
130  DATA
```

第二节　常用分布函数和分位数的计算机程序

一、正态分布

（一）正态分布函数

正态随机变量 $X\sim N(\mu, \sigma^2)$ 可以由

$$U=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

化成标准正态随机变量 U，即 $U\sim N(0, 1)$。

标准正态分布的分布函数（即下侧概率）

$$\Phi(u)=\int_{-\infty}^{u}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{t^2}{2}}dt$$

u 为标准正态随机变量的值。$\Phi(u)$ 可以用误差函数 Erf（x）进行计算。

即

$$\Phi(u)=\begin{cases}0.5\left[1+\mathrm{Erf}\left(\dfrac{u}{\sqrt{2}}\right)\right] & (u\geqslant 0)\\ 0.5\left[1-\mathrm{Erf}\left(\dfrac{-u}{\sqrt{2}}\right)\right] & (u<0)\end{cases}$$

误差函数

$$\mathrm{Erf}(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-u^2}\mathrm{d}u\approx 1-(1+\sum_{i=1}^{6}a_i x^i)^{-16}$$

其中：$a_1=0.0705230784$，$a_2=0.0422820123$，$a_3=0.0092705272$，

$a_4=0.0001520143$，$a_5=0.0002765672$，$a_6=0.0000430638$

程序见 20.4。

程序 20.4

```
4  REM* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
5  REM STANDARDIZED NORMAL DISTRIBUTION
6  REM* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
10  INPUT"MEAN M=";M
20  INPUT "S.D. S=";S
30  INPUT "VARIABLE X=";X
400  U=(X-M)/S : Y=ABS(U)/SQR(2)
410  E1=(((0.430638E-4*Y+0.2765672E-3)*Y+0.1520143E-3)
     *Y+0.92705272E-2)
420  E1=((E1*Y+0.0422820123)*Y+0.0705230784)*Y+1
430  E2=E1*E1*E1*E1
440  E=1-1/E2/E2/E2/E2
450  IF U>=0 THEN 470
460  E=-E
470  P=(1+E)/2
480  PRINT"P(";X;")=";P
490  END
```

M 为样本的平均值，s 为标准偏差，x 为正态随机变量值，U 为 x 的标准化值，P 为下侧概率，其余为中间变量。

（二）标准正态分布的分位数

标准正态分布的上侧概率

$$\alpha=1-p\ (U_\alpha)\ =\int_{U_\alpha}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp-\frac{U^2}{2}\mathrm{d}U$$

与上侧概率 α 相对应的标准正态的随机变量，称为 N（0，1）的上侧概率分位数或分布函数的分位数。U_α 有近似公式

$$U_\alpha=\begin{cases}U_\alpha & (0<\alpha<0.5)\\ 0 & (\alpha=0.5)\\ -U_{1-\alpha} & (0.5<\alpha<1)\end{cases}$$

把 U_α 和 $-U_{1-\alpha}$ 记为 U_β，则

$$U_\beta=\sqrt{y\sum_{i=1}^{10}b_iy^i}$$

式中 $y=-\ln\,[4\alpha\,(1-\alpha)]$ $b_0=0.1570796288\times10$

$b_1=0.3706987906\times10^{-1}$ $b_2=-0.8364353589\times10^{-3}$

$b_3=-0.2250947176\times10^{-3}$ $b_4=0.6841218299\times10^{-5}$

$b_5=0.5824238515\times10^{-5}$ $b_6=-0.1045274970\times10^{-5}$

$b_7=0.8360937017\times10^{-7}$ $b_8=-0.3231081277\times10^{-8}$

$b_9=0.3657763036\times10^{-10}$ $b_{10}=0.6936233982\times10^{-12}$

根据上述数学模型，可以计算各种概率下的标准正态分布的分位数。见程序 20.5。

程序 20.5
```
5    REM CALCULATE U-VALUE
20   INPUT "ONE-TAILED OR TWO-TAILED K=";K
30   INPUT "PROBABILITY Q=";Q
40   IF K=1 THEN 60
50   Q=Q/2
60   IF Q< >.5 THEN 80
70   U=0：GOTO 160
80   Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
100  Z1=(((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-
     0.3231081277E-8)*Y+0.836937017E-7)
105  Z2=(((Z1*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515E-5)*Y+
     0.6841218299E-5)*Y
110  Z=(((Z2-0.2250947176E-3)*Y-0.8364353589E-3)*Y+
     0.3706987906E-1)
120  Z=(Z*Y+1.570796288)*Y
130  U=SQR(Z)
140  IF Q<0.5 THEN 160
150  U=-U
160  IF K=1 THEN 180
170  Q=2*Q
180  PRINT"U(";Q;")=";U
200  END
```

K 用来说明是单侧检验（K=1）或双侧检验（K=2），Q 为上侧概率，U 为上侧概率分位数，其余为中间变量。

二、χ^2 分布

（一）χ^2 分布的分布函数和密度函数

设 x_1，x_2，…，x_n 为来自正态总体 N（μ，σ^2）的样本，统计量 χ^2 由（15—30）式定义，χ^2 分布的概率密度函数见（15—31）式，χ^2 分布函数为

$$F(\chi^2,f)=\int_0^{\chi^2}\varphi(\chi^2,f)\mathrm{d}u$$

设概率密度函数中的$\Gamma(f/2)$为Γ函数。其中f为自由度。

$$\Gamma(x)=\int_0^{\infty}u^{x-1}\cdot e^{-u}\cdot du$$

本程序用递推算法计算。设$x=\frac{\chi^2}{2}$，有递推公式

$$\begin{cases}I_x\left(\frac{i}{2}+1\right)=I_x\left(\frac{i}{2}\right)-\frac{2}{i}u_x\left(\frac{i}{2}\right)\\u_x\left(\frac{i}{2}+1\right)=\frac{2x}{i}u_x\left(\frac{i}{2}\right)\end{cases}$$

初值f为奇数时，

$$\begin{cases}I_x\left(\frac{1}{2}\right)=2\phi(\sqrt{\chi^2})-1\\U_x\left(\frac{1}{2}\right)=\sqrt{\frac{x}{\pi}}e^{-x}\end{cases}$$

f为偶数时，

$$\begin{cases}I_x(1)=1-e^{-x}\\U_x(1)=xe^{-x}\end{cases}$$

最后结果为

$$\begin{cases}F(\chi^2,f)=I_x\left(\frac{f}{2}\right)\\f(\chi^2,f)=U_x\left(\frac{f}{2}\right)/\chi^2\end{cases}$$

利用上述数学模型计算χ^2分布函数的程序见程序 20.6。

程序 20.6

```
20 REM CHI(X2)-DISTRLBUTION
30 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
40 INPUT "VALUE OF CHI K=";K
50 P1=3.14159265359
60 X=K/2 : M=F1/2
70 IF INT(M)=M THEN 140
80 U=SQR(K)
90 GOSUB 400
100 P=2*P-1
110 D=SQR(X/P1)*EXP(-X)
115 IF M=0.5 THEN 300
120 FOR I=0.5 TO M-1
130 GOTO 180
140 P=1-EXP(-X)
150 D=X*EXP(-X)
160 IF M=1 THEN 300
170 FOR I=1 TO M-1
180 P=P-D/I : D=X/I*D
190 NEXT I
```

```
300  D=D/K
310  PRINT "P(";K;",";F1;")=";P
320  PRINT "D(";K;",";F1;")=";D
330  END
400  Y=ABS(U)/SQR(2)
410  E1=(((0.430638E-4 * Y+0.2765672E-3) * Y+0.1520143E-3)
     * Y+0.92705272E-2)
420  E1=((E1 * Y+0.0422820123) * Y+0.0705230784) * Y+1
430  E2=E1 * E1 * E1 * E1
440  E=1-1/E2/E2/E2/E2
450  P=(1+E)/2
460  RETURN
```

F1 为自由度，K 为 χ^2 值，在程序运行时用键盘输入。P 为 χ^2 分布的分布函数值，D 为密度函数值，其余为中间变量。子程序 240 即程序 20.4，用于计算$\sqrt{\chi_2}$的标准正态分布函数值。

（二）χ^2 分布的单侧分位数

χ^2 分布的分位数 $\chi^2_{(\alpha,f)}$，就是 χ^2 分布的上侧概率

$$\alpha=1-F(\chi^2,f)=\int_{\chi^2}^{\infty}\varphi(u,f),\mathrm{d}u$$

中的 χ^2 值。计算 $\chi^2_{(\alpha,f)}$的方法为

$$\chi^2_{(\alpha,1)}=u^2_{\alpha/2}$$

$$\chi^2_{(\alpha,2)}=-2\ln\ (\alpha)$$

当 $f>2$ 时，由近似公式算出初值，

$$\chi^2_{(\alpha,f)}\approx\begin{cases}\left[\left(1-\dfrac{2}{9f}\right)+U_\alpha\sqrt{\dfrac{2}{9f}}\right]^3 & (3\leqslant f\leqslant 30)\\ \dfrac{1}{2}(U_\alpha+\sqrt{2f-1})^2 & (f>30)\end{cases}$$

再用迭代法求得较精确的值，迭代公式为

$$\chi_{i+1}=\chi_i-\frac{F\ (\chi_i)\ -p}{\varphi\ (\chi_i)},\ (i=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$$

式中 $\varphi(\chi_i)$ 为密度函数，p 为约定的下侧概率，$p=1-\alpha$，χ_0 为与 p 相应的分位数的初值，χ_{i+1} 为分位数的迭代值，$F_{(\chi_i)}$为分布函数，$F_{(\chi_i)}=\int_{-\infty}^{x}f(\chi_i)\mathrm{d}\chi$。利用上述数学式计算不同 α 的 χ^2 分布的分位数。也可由表 15-7 查出，见程序 20.7。

程序 20.7

```
5   REM CALCULATE CHIX2-VALUE
10  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
20  INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q
30  IF F1< > 2 THEN 60
40  K=-2 * LOG(Q)
50  GOTO 300
60  IF F1>1 THEN 80
```

```
70  Q=Q/2
80  GOSUB 400
90  IF F1>1 THEN 130
100  K=U*U:Q=2*Q
110  GOTO 300
130  IF F1>30 THEN 200
140  K0=(1-2/9/F1)+U*SQR(2/9/F1)
150  K=F1*K0*K0*K0
160  GOTO 220
200  K0=U+SQR(2*F1-1)
210  K=K0*K0/2
220  P0=1-Q
230  GOSUB 500
240  IF D<1E-20 THEN 300
250  K1=K(P-P0)/D
260  IF ABS(K1-K)<1E-6 THEN 290
270  K=K1
280  GOTO 230
290  K=K1
300  PRINT "X2-";Q;"(";F1;")=";K
310  END
400  IF Q< >0.5 THEN 430
410  U=0
415  RETURN
430  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
440  Z2=(((Z1*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515F-5)*Y+
     0.684121 8299E-5)*Y
450  Z=(((Z2-0.2250947176E-3)*Y-0.8364353589E-3)*Y+
     0.3706987906E-1)
455  Z=(Z*Y+1.570796288)*Y
460  U=SQR(Z)
470  IF Q<0.5 THEN 490
480  U=-U
490  RETURN
500  P1=3.14159265359
510  X=K/2:M=F1/2
530  IF INT(M)=M THEN 610
540  U=SQR(K)
550  GOSUB 700
560  P=2*P-1
```

```
570  D=SQR(X/P1) * EXP(-X)
580  IF M=0.5 THEN 680
590  FOR I=0.5 TO M-1
600  GOTO 650
610  P=1-EXP(-X)
620  D=X * EXP(-X)
630  IF M=1 THEN 680
640  FOR I=1 TO M-1
650  P=P-D/I : D=X/I * D
670  NEXT I
680  D=D/K
690  RETURN
700  Y=ABS(U)/SQR(2)
710  E1=(((0.430638E-3 * Y+0.2765672E-3) * Y+0.1520143E-3) *
     Y+0.92705272E-2) * Y
720  E1=((E1+0.0422820123) * Y+0.0705230784) * Y+1
730  E2=E1 * E1 * E1 * E1
740  E=1-1/E2/E2/E2/E2
750  P=(1+E)/2
760  RETURN
```

F1 为自由度，Q 为上侧概率，在程序运行时用健盘输入。K 为 χ^2 分布的上分位数，即 χ^2 值，U 表示上侧概率为 Q 时的标准正态分布函数的分位数，其余为中间变量。

三、t 分 布

（一）t 分布的分布函数和密度函数

设 x_1，x_2，…，x_n 为来自正态总体 N（μ，σ^2）的样本，则 t 统计量服从 $f=n-1$ 的 t 分布，t 统计量及其分布概率密度函数分别见（15—26）式和（15—27）式，而其累积分布函数为

$$F(t,f)=\int_{-\infty}^{t}\varphi(u,f)\mathrm{d}u$$

采用递推法计算 t 分布的累积分布函数和密度函数，设 $x=\frac{t^2}{i+t^2}$，有递推公式

$$\begin{cases} I_x\left(\frac{i}{2}+1\right)=I_x\left(\frac{i}{2}\right)+\frac{2}{i}U_x\left(\frac{i}{2}\right) \\ U_x\left(\frac{i}{2}+1\right)=U_x\left(\frac{i}{2}\right)\frac{1+i}{i}(1-x) \end{cases}$$

初值 f 是奇数时为

$$\begin{cases} I_x\left(\frac{1}{2}\right)=1-\frac{2}{\pi}\operatorname{arctg}\sqrt{\frac{1-x}{x}} \\ U_x\left(\frac{1}{2}\right)=\frac{1}{\pi}\sqrt{x(1-x)} \end{cases}$$

f 是偶数时为

$$\begin{cases} I_x(1)=\sqrt{x} \\ U_x(1)=\frac{1}{2}\sqrt{x}(1-x) \end{cases}$$

最后结果为

$$\begin{cases} F(t,f)=0.5+\frac{\text{sign}(t)}{2}I_x\left(\frac{f}{2}\right) \\ \varphi(t,f)=U_x\left(\frac{f}{2}\right)/|t| \end{cases}$$

sign 为符号函数，当 $t\geqslant 0$，sign $(t)=1$；$t<0$ 时，sign $(t)=-1$。计算概率函数和密度函数的程序见程序 20.8。

$F1$ 为自由度，T 为给定的 t 值，程序运行后从键盘输入，$P1$ 为圆周率。F 为 t 分布的分布函数，D 为 t 分布的密度函数值。其他为中间变量。

程序 20.8

```
4  REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
5  REM T-DISTRIBUTION
6  REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
30  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
40  INPUT "VALUE OF T=";T
50  V=F1/2 : P1=3.14159265359
60  X=T * T/(F1+T * T)
70  IF INT(V)=V THEN 130
80  I=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X)/X))
90  U=1/P1 * SQR(X * (1-X))
100  IF V=0.5 THEN 180
110  FOR J=0.5 TO V-1
120  GOTO 160
130  I=SQR(X) : U=I * (1-X)/2
140  IF V=1 THEN 180
150  FOR J=1 TO V-1
160  I=I+U/J
165  U=U * (1-X) * (.5+J)/J
170  NEXT J
180  P=0.5+SGN(T) * I/2
185  D=U/ABS(T)
190  PRINT "P(";T;",";F1;")=";P
200  PRINT "D(";T;",";F1;")=";D
210  END
```

（二）t 分布的单侧分位数

t 分布的分位数 $t_{(\alpha,f)}$ 就是 f 分布的上侧概率

$$\alpha = 1 - F(t,f) = \int_t^{\infty} \varphi(U,f)\mathrm{d}U$$

中的 t 值。计算 $t_{(\alpha,f)}$的方法为

$$t_{(\alpha,1)}=\mathrm{tg}\ [\pi\ (0.5-\alpha)]$$

$$t_{(\alpha,2)}=\ \{2\ (1-2\alpha)^2/\ [1-\ (1-\alpha)^2]\}^{1/2}$$

当 $f>2$ 时，由下面的近似公式计算

$$t_{(\alpha,f)}\approx\left[\left(1-\frac{1}{4f}\right)^2-\frac{U_\alpha^2}{2f}\right]^{1/2}U_\alpha\quad (H>0.5\text{ 时})$$

$$t_{(\alpha,f)}\approx\sqrt{f}\left[\frac{\Gamma\left(\frac{1+f}{2}\right)}{\sqrt{\pi}\,2f\Gamma\left(\frac{f}{2}\right)}\right]^{1/f}\quad (H\leqslant 0.5\text{ 时})$$

其中

$$H=\left(1-\frac{1}{4f}\right)^2-\frac{U_\alpha^2}{2f}$$

U_α 为标准正态分布的分位数。算出初值后，再用第二节“二”中的迭代法得到较精确的值。Γ 函数用递推公式计算，即

$$\Gamma\ (f+1)\ =f\Gamma\ (f)$$

初值用 $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)=\sqrt{\pi}$ 或 $\Gamma(1)=1$

t 分布单侧分位数和双侧分位数也可从表 15－6（1）和表 15－6（2）中查出。计算 t 分布单侧分位数的程序见程序 20.9。

程序 20.9

```
4 REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
5 REM CALCULATE T-VALUE                               *
6 REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
10 INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
20 INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q
30 P1=3.14159265359
40 IF F1>1 THEN 70
50 T=TAN(P1*(0.5-Q))
60 GOTO 300
70 IF F1>2 THEN 110
80 Q1=1-2*Q
90 T=SQR(2*Q1*Q1/(1-Q1*Q1))
100 GOTO 300
110 GOSUB 400
120 B=(1-1/4/F1)*(1-1/4/F1)-U/2*U/F1
130 IF B>0.5 THEN 220
140 X=(1+F1)/2
150 GOSUB 500
160 G1=G : X=F1/2
170 GOSUB 500
180 G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
```

```
190  T=SQR(F1)*G2∧(1/F1)
200  GOTO 230
220  T=U/SQR(B)
230  GOSUB 600
240  IF D<1E-20 THEN 300
250  T1=T-(F-1+Q)/D
260  IF ABS(T1-T)<1E-8   THEN 290
270  T=T1
280  GOTO 230
290  T=T1
300  PRINT "T-";Q;"(";F1;")=";T
310  END
400  IF Q< >0.5 THEN 430
410  U=0
420  RETURN
430   Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
440   Z1=((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036 E-10)*Y-
      0.3231081277E-8)*Y
445  Z2=(((Z1+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y+
     0.5824238515E-5)*Y
450  Z3=(((Z2+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
     0.8364353589E-3)*Y
455  Z=((Z3+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
460  U=SQR(Z)
470  IF Q<0.5 THEN 490
480  U=-U
490  RETURN
500  IF INT(X)=X THEN 550
510  G=SQR(P1)
520  IF X=0.5 THEN 590
530  FOR I=0.5 TO X-1
540  GOTO 570
550  G=1
560  FOR I=1 TO X-1
570  G=I*G
580  NEXT I
590  RETURN
600  V=F1/2:X=T*T/(F1+T*T)
620  IF INT (V)=V THEN 680
630  I=1-2/P1*ATN(SQR((1-X)/X))
```

```
640  U=SQR(X*(1-X))/P1
650  IF V=0.5 THEN 750
660  FOR J=0.5 TO V-1
670  GOTO 720
680  I=SQR(X):U=I*(1-X)/2
700  IF V=1 THEN 750
710  FOR J=1 TO V-1
720  I=I+U/J:U=U*(1-X)/J*(J+0.5)
740  NEXT J
750  F=0.5+SGN(T)*I/2
760  D=U/ABS(T)
770  RETURN
```

F1 为自由度，Q 为上侧概率。程序运行后从键盘输入。T 为上侧概率分位数，U 为上侧概率等于 Q 时的标准正态分布函数的分位数。G 为 Γ 函数值。其他均为中间变量。子程序 400 即程序 20.5，子程序 500 用于计算 Γ 函数，子程序 600 即程序 20.8。

四、*F* 分 布

（一）*F* 分布的分布函数和密度函数

设 x_1、x_2、…、x_{n1}和 y_1、y_2、…、y_{n2}为来自正态总体 N（μ，σ）的两个相互独立的样本，则统计量 F 由（15—37）式定义。统计量 F 的概率密度函数由（15—38）式决定，统计量 F 的累积分布函数为

$$P(F,f_1,f_2)=\int_0^F\varphi(u,f_1,f_2)\mathrm{d}U$$

累积分布函数和密度函数可用递推法计算，设 $x=\dfrac{f_1F}{f_2+f_1F}$，递推公式有

$$I_x\left(\frac{f_1}{2}+1,\ \frac{f_2}{2}\right)=I_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)-\frac{2}{f_1}U_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)$$

$$I_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}+1\right)=I_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)+\frac{2}{f_2}U_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)$$

$$U_x\left(\frac{f_1}{2}+1,\ \frac{f_2}{2}\right)=U_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)\frac{f_1+f_2}{f_1}x$$

$$U_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}+1\right)=U_x\left(\frac{f_1}{2},\ \frac{f_2}{2}\right)\frac{f_1+f_2}{f_2}\ (1-x)$$

初值取法如下：

f_1=奇数，f_2=奇数时，

$$\begin{cases}I_x\left(\dfrac{1}{2},\ \dfrac{1}{2}\right)=1-\dfrac{2}{\pi}\operatorname{arc\ tg}\sqrt{\dfrac{1-x}{x}}\\ U_x\left(\dfrac{1}{2},\ \dfrac{1}{2}\right)=\dfrac{1}{\pi}\sqrt{x\ (1-x)}\end{cases}$$

f_1=奇数，f_2=偶数时，

$$\begin{cases}I_x\left(\dfrac{1}{2},1\right)=\sqrt{x}\\ U_x\left(\dfrac{1}{2},1\right)=\dfrac{1}{2}\sqrt{x}\,(1-x)\end{cases}$$

f_1=偶数，f_2=奇数时，

$$\begin{cases} I_x\left(1,\frac{1}{2}\right)=1-\sqrt{1-x} \\ U_x\left(1,\frac{1}{2}\right)=\frac{1}{2}x\sqrt{(1-x)} \end{cases}$$

f_1=偶数，f_2=偶数时，

$$\begin{cases} I_x(1,1)=x \\ U_x(1,1)=x(1-x) \end{cases}$$

最后结果为

$$P(F,f_1,f_2)=I_x\left(\frac{f_1}{2},\frac{f_2}{2}\right)$$

$$f(F,f_1,f_2)=\frac{U_x\left(\frac{f_1}{2},\frac{f_2}{2}\right)}{F}$$

按以上数学模型，设计计算 F 分布的累积分布函数和密度函数值的程序见程序 20.10。

程序 20.10 中 F1、F2 为两个自由度。P1 为圆周率，F 为给定的 F 值，P 和 D 分别为 F 分布的累积分布函数值和密度函数值。其余为中间变量。

程序 20.10
```
4 REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
5 REM F-DISTRIBUTION              *
6 REM * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
10 INPUT "DEGREE OF REEDOM F1=";F1
20 INPUT "DEGREE OF REEDOM F2=";F2
30 INPUT "VALUE OF F=";F
40 P1=3.14159265359
50 M=F1/2 : V=F2/2
60 X=F1 * F/(F2+F1 * F)
70 IF INT(M)=M THEN 160
80 IF INT(V)=V THEN 130
90 P=1-2/P1 * ATN(SQR(1-X)/X))
100 U=SQR(X * (1-X))/P1
110 M1=0.5 : V1=0.5
120 GOTO 220
130 P=SQR(X) : U=P/2 * (1-X)
140 M1=0.5 : V1=1
150 GOTO 220
160 IF INT(V)=V THEN 200
170 P=1-SQR(1-X) : U=X * SQR(1-X)/2
180 M1=1 : V1=0.5
190 GOTO 220
200 P=X : U=X * (1-X)
210 M1=1 : V1=1
```

```
220  IF M<=1 THEN 260
230  FOR I=M1 TO M-1
240  P=P-U/I：U=U*X/I*(I+V1)
250  NEXT I
260  IF U<=1 THEN 300
270  FOR I=VI TO V-1
280  P=P+U/I：U=U*(1-X)/I*(I+M)
290  NEXT I
300  D=U/F
310  PRINT "P(";F;",";F1;",";F2;")=";P
320  PRINT "D(";F;",";F1;",";F2;")=";D
350  END
```

（二）F 分布的单侧分位数

F 分布的单侧分位数 $F_{(\alpha,f_1,f_2)}$就是 F 分布的上侧概率

$$\alpha = 1 - p(F,f_1,f_2) = \int_F^{\infty}(u,f_1,f_2)\mathrm{d}U$$

中的 F 值。先由近似公式计算初值，设

$$E=(1-b)^2-bU_\alpha^2，当 E>0.8 时，$$

$$F_{(\alpha,f_1,f_2)}\approx\left[\frac{(1-a)(1-b)+U_\alpha\sqrt{(1-a)^2b+(1-b)^2a-abU_\alpha^2}}{E}\right]^3$$

当 $E\leqslant 0.8$ 时，

$$F_{(\alpha,f_1,f_2)}\approx\left[\frac{1}{B\left(\frac{f_1}{2},\frac{f_2}{2}\right)}\cdot\frac{2f_2^{\frac{f_2}{2}-1}}{f_1^{\frac{f_2}{2}}}\cdot\frac{1}{\alpha}\right]^{\frac{2}{f_2}}$$

式中 $a=\frac{2}{9f_1}$，$b=\frac{2}{9f_2}$，U_α 为上侧概率为 α 时的标准正态分位数，B 为 B 函数，可用 Γ 函数计算。

计算出初值后，用迭代法算出较精确的值。

F 分布单侧分位数也可从表 15－7 中查出其计算机程序见程序 20.11。

程序 20.11

```
4   REM**********************
5   REM CALCULATE F-VALUE                    *
6   REM**********************
10  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F1=";F1
20  INPUT "DEGREE OF FREEDOM F2=";F2
30  INPUT "UPPER PROBABILITY Q=";Q
40  A=2/9/F1：B=2/9/F2
50  GOSUB 300
60  E=(1-B)*(1-B)-B*U*U
70  IF E>0.8 THEN 160
80  P1=3.14159265359：X=F1/2
```

```
90   GOSUB 400
100  G1=G : X=F2/2
110  GOSUB 400
120  G2=G : X=(F1+F2)/2
130  GOSUB 400
140  F=(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1) * LOG
     (F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))
145  F=EXP(2 * F/F2)
150  GOTO 170
160  H=((1-A) * (1-B)+U * SQR((1-A) * (1-A) * B+A * E))/E
165  F=H * H * H
170  GOSUB 500
180  IF D<1E-20 THEN 220
190  F=F-(P-1+Q)/D
200  IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 220
210  GOTO 170
220  PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
230  END
300  IF Q< >0.5 THEN 330
310  U=0
320  RETURN
330  Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
340  Z1=((0.6936233982E-12 * Y+0.3657763036E-10) * Y-
     0.3231081277E-8) * Y
345  Z2=(((Z1+0.8360937017E-7) * Y-0.104527497E-5) * Y+
     0.5824238515E-5) * Y
350  Z3=(((Z2+0.6841218299E-5) * Y-0.2250947176E-3) * Y-
     0.8364353589E-3) * Y
355  Z=((23+0.3706987906E-1) * Y+1.570796288) * Y
360  U=SQR(Z)
370  IF Q<0.5 THEN 390
380  U=-U
390  RETURN
400  IF INT(X)=X THEN 450
410  G=SQR(P1)
420  IF X=0.5 THEN 490
430  FOR I=0.5 TO X-1
440  GO TO 470
450  G=1
460  FOR I=1 TO X-1
```

```
470  G=I*G
480  NEXT I
490  RETURN
500  M=F1/2 : V=F2/2
520  X=F1*F/(F2+F1*F)
530  IF INT(M)=M THEN 650
540  IF INT(V)=V THEN 600
550  P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X)/X))
560  U=SQR(X*(1-X))/P1
570  M1=0.5 : V1=0.5
590  GOTO 750
600  P=SQR(X) : U=P/2*(1-X)
620  M1=0.5 : V1=1
640  GOTO 750
650  IF INT(V)=V THEN 710
660  P=1-SQR(1-X) : U=X*SQR(1-X)/2
680  M1=1 : V1=0.5
700  GOTO 750
710  P=X : U=X*(1-X)
730  M1=1 : V1=1
750  IF M<=1 THEN 800
760  FOR I=M1 TO M-1
770  P=P-U/I : U=U*X/I*(I+V1)
790  NEXT I
800  IF V<=1 THEN 850
810  FOR I=V1 TO V-1
820  P=P+U/I : U=U*(1-X)/I*(I+M)
840  NEXT I
850  D=U/F
860  RETURN
```

F1 和 F2 分别为两个自由度，Q 为上侧概率。程序运行后从键盘输入，U 表示上侧概率等于 Q 时标准正态分布的分位数。G 为 Γ 函数值，F 为上侧概率是 Q 时 F 分布值，其他为中间变量。子程序 300 即程序 20.5，子程序 400 用于计算 Γ 函数值，子程序 500 即程序 20.10。

第三节　分析测试数据的统计检验程序[1]

一、平均值的检验

（一）用标样法检验样本的平均值

[1] 第三（除程序 20.17 外）、四、五和六节的程序摘自秦建候、邓勃、王小芹编著《分析测试数据统计处理中计算机的应用》北京：化学工业出版社，1989。

原理见第十六章第三节，计算机程序见程序 20.12。

程序 20.12

```
10  PRINT "TEST,OF MEAN WITH STANDA RD SAMPLE"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40  INPUT "STANDARD VALUE U=";U
50  DIM X(N)
60  A=0 : B=0
70  FOR I=1 TO N
80  READ X(I)
90  A=A+X(I) : B=B+X(I) * X(I)
100  NEXT
110  S=SQR((B-A * A/N)/(N-1)) : M=A/N
120  PRINT
130  TT=ABS((M-U)/(S/SQR(N)))
140  PRINT "*  TT=";TT
150  GOSUB 220
160  IF TT<T THEN 190
170  PRINT "*  SIGNIFICANT DIFERRANCE!"
180  GOTO 210
190  PRINT "*  NOT SIGNIFICANT DIFIRENCE!"
200  PRINT "*  MEAN=";M;",S.D=";S
210  END
220  REM RANDOM VARIABLE OF T-DISTRIBUTION
230  F1=N-1
240  P1=3.14159265359
250  IF F1>1 THEN 280
260  T=TAN (P1 * (0.5-Q))
270  GOTO 500
280  IF F1>2 THEN 320
290  Q1=1-2 * Q
300  T=SQR(2 * Q1 * Q1/(1-Q1 * Q1))
310  GOTO 500
320  GOSUB 520
330  B=(1-1/4/F1) * (1-1/4/F1)-U/2 * U/F1
340  IF B>0.5 THEN 420
350  X1=(1+F1)/2
360  GOSUB 620
370  G1=G : X1=F1/2
380  GOSUB 620
```

```
390  G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
400  T=SQR(F1) * G2^ (1/F1)
410  GOTO 430
420  T=U/SQR (B)
430  GOSUB 720
440  IF D<1E-20 THEN 500
450  T1=T-(F-1+Q)/D
460  IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 490
470  T=T1
480  GOTO 430
490  T=T1
500  PRINT "* T(";Q;",";F1;")=": T
510  RETURN
520  IF Q< >0.5 THEN 550
530  U=0
540  RETURN
550  Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
560  Z1=(((((0.6936233982E-12 * Y+0.3657763036E-10) * Y-
     0.3231081277E-8) * Y+0.8360937017E-7) * Y-0.104527497E
     -5) * Y+0.5824238515E-5) * Y
570  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5) * Y-0.2250947176E-3) * Y-
     0.8364353589E-3) * Y+0.3706987906E-1) * Y+1.570796288) * Y
580  U=SQR(Z)
590  IF Q<0.5 THEN 610
600  U=-U
610  RETURN
620  IF INT (X1)=X1 THEN 670
630  G=SQR(P1)
640  IF X1=0.5 THEN 710
650  FOR I=0.5 TO X1-1
660  GOTO 690
670  G=1
680  FOR I=1 TO X1-1
690  G=I * G
700  NEXT I
710  RETURN
720  V=F1/2
730  X1=T * T/(F1+T * T)
740  IF INT (V)=V THEN 800
750  I=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X1)/X1))
```

```
760  U=SQR(X1*(1-X1))/P1
770  IF V=0.5 THEN 870
780  FOR J=0.5 TO V-1
790  GOTO 840
800  I=SQR(X1)
810  U=1*(1-X1)/2
820  IF V=1 THEN 870
830  FOR J=1 TO V-1
840  I=I+U/J
850  U=U*(1-X1)/J*(J+0.5)
860  NEXT J
870  F=0.5+SGN(T)*I/2
880  D=U/ABS(T)
890  RETURN
900  DATA
```

N 为样本容量，Q 为显著性水平，U 为标样的名义值，在程序开始运行后用键盘输入。X（I）为标样的测定值，M 和 S 为测定值的平均值和标准差。TT 为统计量，T 为检验临界值，其余为中间变量。测定值用置数语句放在程序的最后。子程序 220 即程序 20.9，用于计算 $t_{(a,f)}$。$t_{(a,f)}$临界值也可从表 15-6 中查出，再从键盘输入。

（二）两种方法互相检验

方法原理和计算公式见第十六章第三节，其计算机程序见程序 20.13。

程序 20.13

```
10  PRINT "TEST OF SYSTEM ERROR FOR 2 GROUPS"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLES(1) N1=";N1
30  INPUT "SIZE OF SAMPLES(2) N2=";N2
40  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
50  Q=Q/2
60  F1=N1-1:F2=N2-1:F=F1+F2
70  DIM X1(N1),X2(N2)
80  A=0:B=0
90  PRINT "THE SAMPLE VALUES:"
100  FOR I=1 TO N1
110  READ X1(I)
120  PRINT X1(I);",  ";
130  A=A+X1(I):B=B+X1(I)*X1(I)
140  NEXT
150  PRINT
160  S1=SQR((B-A*A/N1)/(N1-1)):M1=A/N)
170  A=0:B=0
180  FOR I=1 TO N2
```

```
190  READ X2(I)
200  PRINT X2(I);",  ";
210  A=A+X2(I) : B=B+X2(I) * X2(I)
220  NEXT
230  PRINT
240  S2=SQR((B-A * A/N2)/(N2-1)) : M2=A/N2
250  PRINT
260  S=(F1 * S1 * S1+F2 * S2 * S2)/(N1+N2-2)
270  TT=ABS((M1-M2)/SQR(S * (1/N1+1/N2)))
280  PRINT "* TT=";TT
290  GOSUB 370
300  IF TT<T THEN 330
310  PRINT "* SIGNIFICANT DIFFERANCE ! "
320  GOTO 360
330  PRINT "* NOT SIGNIFICANT DIFFE RANCE ! "
340  PRINT "* MEAN(1)=";M1;",S.D(1)=" • S1
350  PRINT "* MEAN(2)=";M2;",S.D(2)=";S2
360  END
370  REM RANDOM VARIABLE OF T-DIS TRIBUTION
380  F1=N1+N2-2
390  P1=3.14159265359
400  IF F1>1 THEN 430
410  T=TAN (P1 * (0.5-Q))
420  GOTO 650
430  IF F1>2 THEN 470
440  Q1=1-2 * Q
450  T=SQR(2 * Q1 * Q1/(1-Q1 * Q1))
460  GOTO 650
470  GOSUB 670
480  B=(1-1/4/F1) * (1-1/4/F1)-U/2 * U/F1
490  IF B>0.5 THEN 570
500  X1=(1+F1)/2
510  GOSUB 770
520  G1=G : X1=F1/2
530  GOSUB 770
540  G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
550  T=SQR(F1) * G2^ (1/F1)
560  GOTO 580
570  T=U/SQR(B)
580  GOSUB 870
```

```
590  IF D<1E-20 THEN 650
600  T1=T-(F-1+Q)/D
610  IF ABS(T1-T)<1E-B THEN 640
620  T=T1
630  GOTO 580
640  T=T1
650  PRINT"*  T(";Q;",";F1;")=";T
660  RETURN
670  IF Q<  >0.5 THEN 700
680  U=0
690  RETURN
700  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
710  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-
     0.3231081277E-8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-
     5)*Y+0.5824238515E-5)*Y
720  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
     0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*
     Y
730  U=SQR(Z)
740  IF Q<0.5 THEN 760
750  U=-U
760  RETURN
770  IF INT (X1)=X1 THEN 820
780  G=SQR(P1)
790  IF X1=0.5 THEN 860
800  FOR I=0.5 TO X1-1
810  GOTO 840
820  G=1
830  FOR I=1 TO X1-1
840  G=I*G
850  NEXT I
860  RETURN
870  V=F1/2
880  X1=T*T/(F1+T*T)
890  IF INT (V)=V THEN 950
900  I=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
910  U=SQR(X1*(1-X1))/P1
920  IF V=0.5 THEN 1020
930  FOR J=0.5 TO V-1
940  GOTO 990
```

```
950  I=SQR(X1)
960  U=I*(1-X1)/2
970  IF V=1 THEN 1020
980  FOR J=1 TO V-1
990  I=I+U/J
1000  U=U*(1-X1)/J*(J+0.5)
1010  NEXT J
1020  F=0.5+SGN(T)*I/2
1030  D=U/ABS(T)
1040  RETURN
1050  DATA
```

N1 和 N2 为两个样本的样本容量，Q 为显著性水平，在程序开始运行时均用键盘输入。X1（*I*）和 X2（*I*）为两组样本的样本值，F1 和 F2 为相应的两个样本的自由度，F 为总自由度。M1 和 S1、M2 和 S2 为两个样本的平均值和标准差，S 为合并方差。TT 为统计量，T 为临界值，其余为中间变量。两个样本的样本值分别用置数语句放在程序的最后。子程序 370 即程序 20.9，用于计算临界值 $t_{(\alpha,f)}$。

（三）成对数据检验法

其原理见第十六章第三节，计算机程序见程序 20.14。

程序 20.14

```
10  PRINT "PAIRS T-TEST FOR MEAN"
20  INPUT "NUMBER OF PAIRS SAMPLE : N=";N
30  INPUT "SIGNIFICANT LEVER Q=";Q
40  Q=Q/2
50  PRINT
60  DIM X1(N),X2(N),D(N)
70  A=0 : B=0 : F=N-1
80  PRINT "THE DIFFERANCE OF PAIRS SAMPLE : "
90  FOR I=1 TO N
100  READ X1(I),X2(I)
110  D(I)=X1(I)-X2(I)
120  PRINT D(I);",";
130  A=A+D(I) : B=B+D(I)*D(I)
140  NEXT
150  S=SQR((B-A*A/N)/(N-1)) : D=A/N
160  PRINT
170  TT = ABS (D/(S/SQR(N)))
180  IF R=1 THEN P=P/2
190  PRINT "*TT=";TT
200  GOSUB 260
210  IF TT<T THEN 240
```

```
220  PRINT "* SIGNIFICANT DIFFERANCE ! "
230  GOTO 250
240  PRINT "* NOT SIGNIFICANT DIFFERANCE ! "
250  END
260  REM RANDOM VARIABLE OF T-DISTRIBUTION
270  F1=F
280  P1=3.14159265359
290  IF F1>1 THEN 320
300  T=TAN(P1*(0.5-Q))
310  GOTO 540
320  IF F1>2 THEN 360
330  Q1=1-2*Q
340  T=SQR(2*Q1*Q1/(1-Q1*Q1))
350  GOTO 540
360  GOSUB 560
370  B=(1-1/4/F1)*(1-1/4/F1)-U/2*U/F1
380  IF B>0.5 THEN 460
390  X1=(1+F1)/2
400  GOSUB 660
410  G1=G:X1=F1/2
420  GOSUB 660
430  G2=G1/SQR(P1)/Q/F1/G
440  T=SQR(F1)*G2∧(1/F1)
450  GOTO 470
460  T=U/SQR(B)
470  GOSUB 760
480  IF D<1E-20 THEN 540
490  T1=T-(F-1+Q)/D
500  IF ABS(T1-T)<1E-8 THEN 530
510  T=T1
520  GOTO 470
530  T=T1
540  PRINT "*T(";2*Q;",";F1;")=";T
550  RETURN
560  IF Q< >0.5 THEN 590
570  U=0
580  RETURN
590  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
600  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-
     0.3231081277E-8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E
```

```
     -5)*Y+0.5824238515E-5)*Y
610  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
     0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)
     *Y
620  U=SQR(Z)
630  IF Q<0.5 THEN 650
640  U=-U
650  RETURN
660  IF INT (X1)=X1 THEN 710
670  G=SQR(P1)
680  IF X1=0.5 THEN 750
690  FOR I=0.5 TO X1-1
700  GOTO 730
710  G=1
720  FOR I=1 TO X1-1
730  G=I*G
740  NEXT I
750  RETURN
760  V=F1/2
770  X1=T*T/(F1+T*T)
780  IF INT (V)=V THEN 840
790  I=I-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
800  U=SQR(X1*(1-X1))/P1
810  IF V=0.5 THEN 910
820  FOR J=0.5 TO V-1
830  GOTO 880
840  I=SQR(X1)
850  U=I*(1-X1)/2
860  IF V=1 THEN 910
870  FOR J=1 TO V-1
880  I=I+U/J
890  U=U*(1-X1)/J*(I+0.5)
900  NEXT J
910  F=0.5+SGN(T)*I/2
920  D=U/ABS(T)
930  RETURN
940  DATA
```

N 为成对数据的数目，Q 为显著性水平，在程序开始运行后用键盘输入。X1 (I) 和 X2 (I) 为同一样品的两种方法的测定值，D (I) 为其差值，D 和 S 为差值的平均值和标准差。TT 为统计量，T 为检验的临界值，其余均为中间变量。测试数据以成对方式用置数语句放在程序

的最后。成对检验属于双侧检验，如约定的显著性水平为Q，应以Q/2计算其临界值。子程序260即程序20.9，用于计算临界值。

二、方差检验程序

有关本节的原理及计算公式请参阅第十六章第四节，其程序如下：

（一）一个总体方差的检验

程序20.15

```
10  PRINT "VARIANCE TEST FOR ONE POPULATION"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40  INPUT "POPULATION VARIANCE (OR DEVIATION)S0=";S0
50  INPUT "CONT. VALUE R=";R
60  Q=Q/2
70  IF R=1 THEN S0=S0*S0
80  DIM X(N)
90  A=0:B=0:F=N-1
100  FOR I=1 TO N
110  READ X(I)
120  A=A+X(I):B=B+X(I)*X(I)
130  NEXT
140  S=SQR((B-A*A/N)/(N-1))
150  PRINT
160  X2=(N-1)*S*S/S0
170  PRINT "* X2=";X2
180  F1=F:GOSUB 270
190  K2=K
200  Q=1-Q:GOSUB 270
210  K1=K
220  IF X2>K2 AND X2<K1 THEN 250
230  PRINT "* NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE !"
240  GOTO 260
250  PRINT "* SIGNIFICANT DIFFERENCE !"
260  END
270  REM RANDOM VARIABLE OF X2-DISTRIBUTION
280  IF F1< >2 THEN 310
290  K=-2* LOG (Q)
300  GOTO 510
310  IF F1>1 THEN 330
320  Q=Q/2
330  GOSUB 530
```

```
340  IF F1>1 THEN 370
350  K=U*U : Q=2*Q
360  GOTO 510
370  IF F1>30 THEN 410
380  K0=(1-2/9/F1)+U*SQR(2/9/F1)
390  K=F1*K0*K0*K0
400  GOTO 430
410  K0=U+SQR(2*F1-1)
420  K=K0*K0/2 : P0=1-Q
430  P0=1-Q
440  GOSUB 630
450  IF D<1E-20 THEN 510
460  K1=K-(P-P0)/D
470  IF ABS(K1-K)<1E-6 THEN 500
480  K=K1
490  GOTO 440
500  K=K1
510  PRINT "CHI^2(";Q;",";F1;")=";K
520  RETURN
530  IF Q< >0.5 THEN 560
540  U=0
550  RETURN
560  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
570  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-
     0.3231081277E-8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E
     -5)*Y+0.5824238515E-5)*Y
580  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
     0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)
     *Y
590  U=SQR(Z)
600  IF Q<0.5 THEN 620
610  U=-U
620  RETURN
630  F1=3.14159265359
640  X1=K/2 : M=F1/2
650  IF INT (M)=M THEN 730
660  U=SQR(K)
670  GOSUB 800
680  P=2*F-1
690  D=SQR(X1/P1)*EXP(-X1)
```

```
700  IF M=0.5 THEN 780
710  FOR I=0.5 TO M-1
720  GOTO 760
730  P=1-EXP(-X1)
740  D=X1*EXP(-X1)
750  FOR I=1 TO M-1
760  P=P-D/I:D=X1/I*I
770  NEXT I
780  D=D/K
790  RETURN
800  Y=ABS(U)/SQR(2)
810  E1=(((((0.430683E-4*Y+0.2765672E-3)*Y+0.1520143E-
     3)*Y+0.92705272E-2)*Y+0.0422820123)*Y+
     0.0705230784)*Y+1
820  E2=E1*E1*E1*E1
830  E=1-1/E2/E2/E2/E2
840  F=(1+E)/2
850  RETURN
860  DATA
```

N 为样本容量，Q 为显著性水平，S0 为总体方差或标准差，在程序开始运行后，均用键盘输入。R 为控制量，已知总体标准差时，R 输入 1，已知总体方差时，R 输入 2。X（I）为样本值，X2 为统计量，S 为样本的标准差，F 为自由度。K1 和 K2 分别为两个临界值，用子程序 270 计算，子程序 270 即程序 20.7。样本值用置数语句放在程序的最后。K1 和 K2 两个临界值也可从表 15-6 中查出得，从键盘输入。

（二）两个总体方差的检验

程序 20.16

```
10  PRINT "VARIANCE TEST FOR TWO TOTALITY"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLE(1) N1=";N1
30  INPUT "SIZE OF SAMPLE(2) N2=";N2
40  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
50  INPUT "1-SIDE(R=1) OR 2-SIDE(R=2):";R
60  IF R=2 THEN Q=Q/2
70  DIM X1(N1),X2(N2)
80  F1=N1-1:F2=N2-1
90  A=0:B=0
100  FOR I=1 TO N1
110  READ X1(I)
120  A=A+X1(I):B=B+X1(I)*X1(I)
130  NEXT
140  S1=SQR((B-A*A/N1)/(N1-1)):X1=A/N1
```

```
150  A=0 : B=0
160  FOR I=1 TO N2
170  READ X2(I)
180  A=A+X2(I) : B=B+X2(I) * X2(I)
190  NEXT
200  S2=SQR((B-A * A/N2)/(N2-1)) : X2=A/N2
210  PRINT
220  IF S1>S2 THEN F=S1 * S1/(S2 * S2) : GOTO 260
230  F=S2 * S2/(S1 * S1)
240  PRINT "*  F=";F
250  W=F1 : F1=F2 : F2=W
260  GOSUB 320
270  IF F<F0 THEN 300
280  PRINT "*  SIGNIFICANT DIFFERANCE ! "
290  GOTO 310
300  PRINT "*  NOT SIGNIFICANT DIFFERANCE ! "
310  END
320  REM F-DISTRIBUTION VALUE
330  A=2/9/F1 : B=2/9/F2
340  GOSUB 540
350  E=(1-B) * (1-B)-B * U * U : P1=3.14159265359
360  IF E>0.8 THEN 450
370  P1=3.14159265359 : X=F1/2
380  GOSUB 640
390  G1=G : X=F2/2
400  GOSUB 640
410  G2=G : X=(F1+F2)/2
420  GOSUB 640
430  F0=EXP(2 * (LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1) * LOG
     (F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
440  GOTO 470
450  FF=((1-A) * (1-B)+U * SQR((1-A) * (1-A) * B+A * (E))/E
460  F0=FF * FF * FF
470  GOSUB 740
480  IF D<1E-20 THEN 520
490  F0=F0-(P-1+Q)/D
500  IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 520
510  GOTO 470
520  PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F0
530  RETURN
```

```
540  IF Q< >0.5 THEN 570
550  U=0
560  RETURN
570  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
580  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-0.3231081277E
     -8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824230515E
     -5)*Y
590  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
     0.8364253589E-3)*Y+0.3706987906E-T)*Y+1.570796288)*Y
600  U=SQR(Z)
610  IF Q<0.5 THEN 630
620  U=-U
630  RETURN
640  IF INT (X)=X THEN 690
650  G=SQR(P1)
660  IF X=0.5 THEN 730
670  FOR I=0.5 TO X-1
680  GOTO 710
690  G=1
700  FOR I=1 TO X-1
710  G=I*G
720  NEXT I
730  RETURN
740  M=F1/2:V=F2/2
750  X=F1*F0/(F2+F1*F0)
760  IF INT (M)=M THEN 850
770  IF INT (V)=V THEN 820
780  LET P=1-2/P1*ATN (SQR((1-X)/X))
790  U=SQR(X*(1-X))/P1
800  M1=0.5:V1=0.5
810  GOTO 910
820  P=SQR(X):U=P/2*(1-X)
830  M1=0.5:V1=1
840  GOTO 910
850  IF INT (V)=V THEN 890
860  P=1-SQR(1-X):U=X*SQR(1-X)/2
870  M1=1:V1=0.5
880  GOTO 910
890  P=X:U=X*(1-X)
900  M1=1:V1=1
```

```
910  IF M<=1 THEN 950
920  FOR I=M1 TO M-1
930  P=P-U/I:U=U*X/I*(I+V1)
940  NEXT I
950  IF V<=1 THEN 990
960  FOR I=V1 TO V-1
970  P=P+U/I:U=U*(1-X)/I*(I+M)
980  NEXT I
990  D=U/F
1000  RETURN
1010  DATA
1020  DATA
```

N1 和 N2 为样本 1 和 2 的样本数，Q 为显著性水平、R 为控制量，单侧检验 R=1，双侧检验 R=2。上述参数均在程序运行时用键盘输入。F1 和 F2 为相应的两个样本的自由度，X1 (I) 和 X2 (I) 为样本 1 和样本 2 的值，S1、X1 和 S2、X2 为两个样本的标准差和平均值。F 为计算的统计量。F0 为检验临界值，由子程序 320 即程序 20.11 计算。其余为中间变量两组样本值分别用置数语句放在程序的最后。F0 临界值也可从表 15-8 中查得。

三、分析测试数据分布类型的检验

有关本节的原理及计算公式请看第十六章第一节，其计算机程序为程序 20.17 与程序 20.18。

（一）频数分布和直方图

先由公式 $G=1.87\ (N-1)^{2/5}$ (N 为数据个数)，计算出应分组数，再根据极差与组数确定组距，算出组频数。

程序 20.17

```
10 PRINT "NUMBERS OF DATA";
20  INPUT N
30  READ V
40  V1=V
50  FOR I=2 TO N
60  READ A
70  IF A>=V THEN 100
80  V=A
100  IF A<=V1 THEN 120
110  V1=A
120  NEXT I
130  RESTORE
140  G=INT(1.87*EXP(2*LOG(N-1)/5)+0.5)
150  R=INT((V1-V)/G*100+10)/100
160  V=(V+V1-R*G)/2
```

```
170  DIM B(G-1)
180  FOR I=0 TO G-1
190  B(I)=0
200  NEXT I
210  FOR I=1 TO N : READ A
230  FOR J=0 TO G-1
240  IF A<=V+J*R THEN 280
250  IF A>V+(J+1)*R THEN 280
260  B(J)=B(J)+1
270  GOTO 290
280  NEXT J
290  NEXT I
300  FOR I=0 TO G-1
310  PRINT "(-";V+R*(I+1);")";TAB(10);"I";
320  N1=INT(B(I)/N*50+0.5)
330  FOR J=1 TO N1
340  PRINT "*";
350  NEXT J
360  PRINT "(";B(I);")"
370  NEXT I
380  END
390  DATA
395  DATA
```

（二）χ^2 分布类型检验法

χ^2 分布类型检验法适用于样本容量 $n\geqslant 50$。当 $n<50$ 时，χ^2 检验的灵敏度较差。对于组内样本数小于 5 的组，可将其与相邻组合并，提高 χ^2 检验的灵敏度。

程序 20.18

```
10  PRINT "CHI-2 DISTRIBUTION TEST"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30  INPUT "SIGNIFICANCE LEVEL Q=";Q
40  K=INT (1.52*((N-1)∧0.4)+0.5)
50  IF R=1 THEN 100
60  DIM X(N),D(K+1),U(K+1),NP(K+1),N(K+1),F(K+1)
70  FOR I=1 TO N
80  READ X(I)
90  NEXT
100  FOR I=1 TO N-1
110  FOR J=I+1 TO N
120  IF X(I)<=X(J)THEN 140
130  W=X(I) : X(I)=X(J) : X(J)=W
```

```
140  NEXT J
150  NEXT I
160  A=0 : B=0
170  FOR I=1 TO N
180  A=A+X(I) : B=B+X(I) * X(I)
190  NEXT
200  S=SQR((B-A * A/N)/(N-1)) : M=A/N
210  Z=(X(N)-X(1))/K
220  K=K+1
230  D(0)=X(1)-Z/2 : U(0)=(D(0)-M)/S
240  PRINT "D(0)=";D(0);",U(0)=";U(0)
250  FOR I=1 TO K
260  D(I)=D(0)+Z * I : U(I)=(D(I)-M)/S
270  PRINT "D(";I;")=";D(I);",U(";I;")=";U(I)
280  NEXT I
290  PRINT
300  FOR I=0 TO K
310  U=U(I)
320  N(I)=0
330  GOSUB 930
340  F(I)=F0
350  PRINT "F(";I;")=";F(I)
360  NEXT
370  FOR I=1 TO K
380  NP(I)=F(I)-F(I-1)
390  NP(I)=N * NP(I)
400  PRINT "NP(";I;")=";NP(I);",";
410  FOR J=1 TO N
420  IF X(J)>D(I) THEN 460
430  IF X(J)<D(I-1) THEN 450
440  N(I)=N(I)+1
450  NEXT J
460  PRINT "N(";I;")=";N(I)
470  NEXT I
480  FOR I=1 TO K
490  IF N(I)<5 THEN 520
500  NEXT I
510  GOTO 590
520  N(I+1)=N(I+1)+N(I)
530  NP(I+1)=NP(I+1)+NP(I)
```

```
540  FOR J=I  TO  K-1
550  N(J)=N(J+1) : NP(J)=NP(J+1)
560  NEXT J
570  K=K-1
580  GOTO 480
590  IF N(K)>=5 THEN 630
600  N(K-1)=N(K-1)+N(K)
610  NP(K-1)=NP(K-1)+NP(K)
620  K=K-1
630  X2=0
640  FOR I=1 TO K
650  X2=(N(I)-NP(I))^ 2/NP(I)+X2
660  NEXT I
670  X2=INT (X2*100+0.5)/100
680  PRINT "X2=";X2
690  F=K-3
700  GOSUB 1020
710  PRINT "X0(";Q;",";F;")=";X0
720  IF R=1 THEN 850
730  IF X2>=X0 THEN 770
740  PRINT "* * IT IS NORMAL DISTRIBUTION ! !"
750  PRINT "* M=";M;",S=";S
760  GOTO 910
770  PRINT "* * IT IS NOT NORMAL DISTRIBUTION ! !"
780  PRINT
790  PRINT "-----------------------"
800  R=1
810  FOR I=1 TO N
820  X(I)=LOG(X(I))
830  NEXT
840  GOTO 40
850  IF X2>=X0 THEN 900
860  PRINT "* * IT IS LOG NORMAL DISTRIBUTION ! !"
870  GS=EXP(S) : GM =EXP(M)
880  PRINT "* GM=";GM;",GS=";GS
890  GOTO 910
900  PRINT "* * IT IS NOT LOG NORMAL DISTRIBUTION ! !"
910  PRINT"* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *"
920  END
930  REM NORMAL DISTRIBUTION PROBABI LITY
```

```
940  Y=ABS(U)/SQR(2)
950  E1=((0.430638E-4*Y+0.2765672E-3)*Y+0.1520143E-3)*Y+
     0.92705272E-2)*Y+0.0422820123)*Y+0.0705230784)*Y+1
960  E2=E1*E1*E1*E1
970  E=1-1/E2/E2/E2/E2
980  IF U>0 THEN 1000
990  E=-E
1000  F0=(1+E)/2
1010  RETURN
1020  REM RANDOM VARIABLE OF X2-DISTRIBUTION
1030  F1=F
1040  IF F1< >2 THEN 1070
1050  K=-2* LOG(Q)
1060  GOTO 1270
1070  IF F1>1 THEN 1090
1080  Q=Q/2
1090  GOSUB 1290
1100  IF F1>1 THEN 1130
1110  K=U*U : Q=2*Q
1120  GOTO 1270
1130  IF F1>30 THEN 1170
1140  K0=(1-2/9/F1)+U*SQR(2/9/F1)
1150  K=F1*K0*K0*K0
1160  GOTO 1190
1170  K0=U+SQR(2*F1-1)
1180  K=K0*K0/2 : P0=1-Q
1190  P0=1-Q
1200  GOSUB 1390
1210  IF D<1E-20 THEN 1270
1220  K1=K-(P-P0)/D
1230  IF ABS(K1-K)<1E-6 THEN 1260
1240  K=K1
1250  GOTO 1200
1260  K=K1
1270  X0=K
1280  RETURN
1290  IF Q< >0.5 THEN 1320
1300  U=0
1310  RETURN
1320  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
```

```
1330  Z1 = (((((0.6936233982E - 12 * Y + 0.3657763036E - 10) * Y -
      0.3231081277E-8) * Y+0.8360937017E-7) * Y-0.104527497E-5) * Y
      +0.5824238515E-5) * Y
1340  Z = (((((Z1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
      0.8364353589E-3) * Y+0.3706987906E-1) * Y+1.570796288) * Y
1350  U=SQR(Z)
1360  IF Q<0.5 THEN 1380
1370  U=-U
1380  RETURN
1390  P1=3.14159265359
1400  X1=K/2 : M1=F1/2
1410  IF INT (M1)=M1 THEN 1490
1420  U=SQR(K)
1430  GOSUB 930
1440  P=2 * F0-1
1450  D=SQR(X1/P1) * EXP(-X1)
1460  IF M1=0.5 THEN 1550
1470  FOR I=0.5 TO M1-1
1480  GOTO 1530
1490  P=1-EXP(-X1)
1500  D=X1 * EXP(-X1)
1510  IF M1=1 THEN 1550
1520  FOR I=1 TO M1-1
1530  P=P-D/I : D=X1/I * D
1540  NEXT I
1550  D=D/K
1560  RETURN
1570  DATA
```

N 为样本容量，Q 为显著性水平，在程序运行时根据显示要求用键盘输入。K 为样本数据分组组数，X (I) 为样本数据，D (I) 为分组组限，U (I) 为 D (I) 的标准化值，F (I) 为组限的概率。N (I) 和 NP (I) 为第 I 组的实际样本数和理论样本数，X2 为检验的统计量，F 为自由度，X0 为检验临界值。M 和 S 为样本的算术平均值和算术标准差，GM 和 GS 为几何平均值和几何标准差。其余为中间变量，样本数据用置数语句放在程序的最后。子程序 930 即程序 20.4，用于计算概率。子程序 1020 即程序 20.7，用于计算 χ^2 临界值。分布类型检验结果如为非正态分布，程序将数据转换成对数后，进入对数正态分布检验。

第四节　方 差 分 析

有关方差分析原理、计算公式见第十七章。本节列出方差分析中程序。

一、单因素方差分析

单因素试验方差分析程序见程序 20.19。

程序 20.19

```
10  PRINT "VARIANCE ANALYSIS FOR SINGLE FACTOR"
20  INPUT "SIZE OF GROUP N=";N
30  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40  PRINT
50  DIM N(N),M(N),S(N),X(N),XX(N)
60  FOR I=1 TO N
70  READ N(I)
80  N1=N1+N(I) : N2=N2+N(I) * N(I)
90  NEXT I
100  PRINT "MEAN AND VARIANCE  : "
110  FOR I=1 TO N
120  FOR J=1 TO N(I)
130  READ X
140  X(I)=X(I)+X : XX(I)=XX(I)+X * X
150  NEXT J
160  S(I)=(XX(1)-X(I) * X(I)/N(I))/(N(I)-1) : M(I)=X(I)/N(I)
170  PRINT "NO. (";I;") : M=";M(I);TAB(24);"S(";I;")=";S(I)
180  NEXT I
190  A=0 : B=0 : C=0 : D=0 : E=0
200  FOR I=1 TO N
210  A=A+M(I) : B=B+N(I)
220  C=C+X(I) : D=D+XX(I)
230  E=E+X(I) * X(I)/N(I)
240  NEXT I
250  PRINT "TOTAL MEAN M=";A/N
260  PRINT
270  F1=N-1 : F2=B-N
280  S1=(E-C * C/B)/F1
290  S2=(D-E)/F2
300  PRINT " * S2=";S2
310  PRINT " * S1=";S1
320  F0=S1/S2 : FO=INT(F0 * 990+0.5)/1000
330  GOSUB 500
340  PRINT " * F0=";F0
350  IF F0<F THEN 410
360  FOR I=1 TO N+R
```

```
370  IF M0(I)=M(N) THEN H=I
380  NEXT I
390  PRINT "* SIGNIFICANT DIFFERENCE ! "
400  GOTO 420
410  PRINT "* NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE  ! ": GOTO 480
420  PRINT
430  V2=S2
440  V1=(S1-S2)*((N-1)*N1/(N1*N1-N2))
450  V=V1+V2
460  PRINT "V1=";V1;TAB(20);"V1/V=";INT (V1/V*10000+0.5)/100;"%"
470  PRINT "V2=";V2;TAB(20);"V2/V=";INT(V2/V*10000+0.5)/100;"%"
480  PRINT"********************************
     ****"
490  END
500  REM RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
510  A=2/9/F1 : B=2/9/F2
520  GOSUB 720
530  E=(1-B)*(1-B)-B*U*U : P1=3.14159265359
540  IF E>0.8 THEN 630
550  P1=3.14159265359 : X1=F1/2
560  GOSUB 320
570  G1=G : X1=F2/2
580  GOSUB 820
590  G2=G : X1=(F1+F2)/2
600  GOSUB 820
610  F=EXP(2*(LOB(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
     (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
620  GOTO 650
630  FF=((1-A)*(1-B)+U*SQR((1-A)*(1-A)*B+A*E))/E
640  F=FF*FF*FF
650  GOSUB 920
660  IF D<1E-20 THEN 700
670  F=F-(P-1+Q)/D
680  IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 700
690  GOTO 650
700  PRINT "*F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
710  RETURN
720  IF Q< >0.5 THEN 750
730  U=0
740  RETURN
```

```
750  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
760  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-0.3231081277E
     -8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y+0.5824238515E
     -5)*Y
770  Z = (((((Z1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
     0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
780  U=SQR(Z)
790  IF Q<0.5 THEN 810
800  U=-U
810  RETURN
820  IF INT(X1)=X1 THEN 870
830  G=SQR(P1)
840  IF X1=0.5 THEN 910
850  FOR I=0.5 TO X1-1
860  GOTO 890
870  G=1
880  FOR I=1 TO X1-1
890  G=I*G
900  NEXT I
910  RETURN
920  M=F1/2:V=F2/2
930  X1=F1*F/(F2+F1*F)
940  IF INT(M)=M THEN 1030
950  IF INT(V)=V THEN 1000
960  P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
970  U=SQR(X1*(1-X1))/P1
980  M1=0.5:V1=0.5
990  GOTO 1090
1000  R=SQR(X1):U=P/2*(1-X1)
1010  M1=0.5:V1=1
1020  GOTO 1090
1030  IF INT(V)=V THEN 1070
1040  P=1-SQR(1-X1):U=X1*SQR(1-X1)/2
1050  M1=1:V1=0.5
1060  GOTO 1090
1070  P=X1:U=X1*(1-X1)
1080  M1=1:V1=1
1090  IF M<=1 THEN 1130
1100  FOR I=M1 TO M-1
1110  P=P-U/I:U=U*X1/I*(I+V1)
```

```
1120  NEXT I
1130  IF V<=1 THEN 1170
1140  FOR I=V1 TO V-1
1150  P=P+U/I:U=U*(1-X1)/I*(I+M)
1160  NEXT I
1170  D=U/F
1180  RETURN
1190  DATA
1200  DATA
```

N 为组数或因素的水平数，Q 为显著性水平，在程序开始运行后用键盘输入。X 为试验结果，N (I) 为第 I 组的试验次数，X (I) 和 XX (I) 为该组试验结果之和及其平方和，M (I) 为第 I 组的平均值，S (I) 为其方差。M 为总平均值，S1 和 S2 分别为组间及组内方差估计值，V1 和 V2 为其方差。F0 为 F 检验的统计量，F 为临界值，其余均为中间变量。各组的试验次数和试验结果用置数语句放在程序的最后。子程序 500 即程序 20.11，用于计算 F 检验的临界值。

二、双因素交叉分组方差分析

程序 20.20

```
10   PRINT "VARIANCE ANALYSIS OF TWO FACTORS"
20   INPUT "SIZE OF FACTOR A:";A
30   INPUT "SIZE OF FACTOR B:";B
40   INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIALSN=";N
50   INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
60   INPUT "MODEL (FIXED=1,RANDOM=2,MIXED=3):MO=";MO
70   DIM T1(A);T2(B);T(A,B)
80   FOR I=1 TO A
90   FOR J=1 TO B
100   FOR K=1 TO N
110   READ X
120   T=T+X:T2=T2+X*X
130   T1(I)=T1(I)+X
140   T2(J)=T2(J)+X
150   T(I,J)=T(I,J)+X
160   NEXT K
170   T4=T4+T(I,J)*T(I,J)
180   NEXT J
190   AQ=AQ+T1(I)^2
200   NEXT I
210   FOR J=1 TO B
220   BQ=BQ+T2(J)^2
```

```
230 NEXT J
240 N0=A*B*N : T1=T*T/NO
250 DT=N0-1 : DA=A-1 : DB=B-1
260 DD=(A-1)*(B-1) : DE=A*B*(N-1)
270 QA=AQ/(B*N)-T1
280 QB=BQ/(A*N)-T1
290 AB=T4/N-AQ/(B*N)-BQ/(A*N)+T1
300 IF N>1 THEN 320
310 QE=AB : DE=DD : GOTO 330
320 QE=T2-T4/N
330 QT=T2-T1
340 PRINT "QT=";QT;",DT=";DT
350 PRINT "QA=";QA;",DA=";DA
360 PRINT "QB=";QB;",DB=";DB
370 PRINT "QE=";QE;",DE=";DE
380 IF N=1 THEN 640
390 PRINT "Q(A*B)=";AB",D(A*B)=";DD
400 PRINT
410 SE=QE/DE : FM=AB/DD/SE
420 PRINT "F(A*B)=";FM
430 F0=FM : F1=DD : F2=DE
440 GOSUB 990
450 R1=R0
460 IF R0=1 THEN SS=(AB/DD-SE)/N
470 IF R0=0 THEN QE=QE+AB : DE=DE+DD
480 IF MO < > 2 THEN 630
490 IF R0=0 THEN 640
500 PRINT
510 FA=QA/DA/AB*DD
520 PRINT "FA=";FA
530 F0=FA : F1=DA : F2=DE
540 GOSUB 990
550 IF R0=1 THEN SA=(QA/DA-SE-N*SS)/(B*N)
560 PRINT
570 FB=QB/DB/AB*DD
580 PRINT "FB=";FB
590 F0=FB : F1=DB : F2=DE
600 GOSUB 990
610 IF R0=1 THEN SB=(QB/DB-SE-N*SS)/(B*N)
620 GOTO 910
```

```
630  IF MO=3 THEN 780
640  PRINT
650  SE=QE/DE
660  FA=QA/DA/SE
670  PRINT " FA=";FA
680  F0=FA : F1=DA : F2=DE
690  GOSUB 990
700  IF R0=1 THEN SA=(QA/DA-SE)/(N * B)
710  PRINT
720  FB=QB/DB/SE
730  PRINT "FB=";FB
740  F0=FB : F1=DB : F2=DE
750  GOSUB 990
760  IF R0=1 THEN SB=(QB/DB-SE)/(N * A)
770  GOTO 910
780  PRINT
790  IF R0=0 THEN 650
800  FA=QA/DA/SE
810  PRINT " FA=";FA
820  F0=FA : F1=DA : F2=DE
830  GOSUB 990
840  IF R0=1 THEN SA=(QA/DA-SE)/(N * B)
850  PRINT
860  FB=QB/DB/AB * DD
870  PRINT " FB=";FB
880  F0=FB : F1=DB : F2=DD
890  GOSUB 990
900  IF R0=1 THEN SB=(QB/DB-SE-N * SS)/(A * N)
910  PRINT
920  S=SA+SB+SS+SE
930  PRINT " SA=";SA;",SA/S=";INT(SA/S * 10000+0.5)/100;"%"
940  PRINT " SB=";SB;",SB/S=";INT(SB/S * 10000+0.5)/100;"%"
950  IF R1=0 THEN 970
960  PRINT " SS(A * B)=";SS;",SS/S=";INT(SS/S * 10000+0.5)/100;"%"
970  PRINT " SE(ERROR)=";SE;",SE/S=";INT(SE/S * 10000+0.5)/100;"%"
980  END
990  REM F TEST
1000  GOSUB 1070
1010  IF F0 >F THEN 1040
1020  PRINT " NOT SIGNIFICANT DIFFERANCE!"
```

```
1030  R0=0 : GOTO 1060
1040  PRINT "* * SIGNIFICANT DIFFERANCE!"
1050  R0=1
1060  RETURN
1070  REM RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
1080  A1=2/9/F1 : B1=2/9/F2
1090  GOSUB 1290
1100  E=(1-B1)*(1-B1)-B1*U*U: P1=3.14159265359
1110  IF E >0.8 THEN 1200
1120  P1=3.14159265359 : X1=F1/2
1130  GOSUB 1390
1140  G1=G : X1=F2/2
1150  GOSUB 1390
1160  G2=G : X1=(F1+F2)/2
1170  GOSUB 1390
1180  F=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
      (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q)/F2)
1190  GOTO 1220
1200  FF=((1-A1)*(1-B1)+U*SQR((1-A1)*(1-A1)*B1+A1*E))/E
1210  F=FF*FF*FF
1220  GOSUB 1490
1230  IF D<1E-20 THEN 1270
1240  F=F-(P-1+Q)/D
1250  IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 1270
1260  GOTO 1220
1270  PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
1280  RETURN
1290  IF Q<  >0.5 THEN 1320
1300  U=0
1310  RETURN
1320  Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
1330  Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-0.3231081277
      E-8)*Y+0.8360937017E-7)*Y-0.104527497E-5)*Y+
      0.5824238515E-5)*Y
1340  Z=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y-0.2250947176E-3)*Y-
      0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
1350  U=SQR(Z)
1360  IF Q<0.5 THEN 1380
1370  U=-U
1380  RETURN
```

```
1390  IF INT (X1)=X1 THEN 1440
1400  G=SQR(P1)
1410  IF X1=0.5 THEN 1480
1420  FOR I=0.5 TO X1-1
1430  GOTO 1460
1440  G=1
1450  FOR I=1 TO X1-1
1460  G=I*G
1470  NEXT I
1480  RETURN
1490  M=F1/2 : V=F2/2
1500  X1=F1*F/(F2+F1*F)
1510  IF INT(M)=M THEN 1600
1520  IF INT(V)=V THEN 1570
1530  P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X1)/X1))
1540  U=SQR(X1*(1-X1))/P1
1550  M1=0.5 : V1=0.5
1560  GOTO 1660
1570  P=SQR(X1) : U=P/2*(1-X1)
1580  M1=0.5 : V1=1
1590  GOTO 1660
1600  IF INT(V)=V THEN 1640
1610  P=1-SQR(1-X1) : U=X1*SQR(1-X1)/2
1620  M1=1 : V1=0.5
1630  GOTO 1660
1640  P=X1 : U=X1*(1-X1)
1650  M1=1 : V1=1
1660  IF M<=1 THEN 1700
1670  FOR I=M1 TO M-1
1680  P=P-U/I : U=U*X1/I*(I+V1)
1690  NEXT I
1700  IF V<=1 THEN 1740
1710  FOR I=V1 TO V-1
1720  P=P+U/I : U=U*(1-X1)/I*(I+M)
1730  NEXT I
1740  D=U/F
1750  RETURN
1760  DATA
1770  DATA
```

A 为因素 *A* 的水平数，B 为因素 *B* 的水平数，N 为重复测定次数，Q 为显著性水平，MO

为 F 检验模型参数，固定模型时 MO=1，随机模型 MO=2，混合模型 MO=3，上述这些参数均在程序运行之初用键盘输入。T 和 T2 为全部试验结果数据之和及平方和，T1（I）表示因素 *A* 为 I 水平时的试验数据之和，T2（J）为因素 *B* 在水平 J 时的试验数据之和。T（I，J）为因素 *A* 取 I 水平、因素 *B* 取 J 水平时的数据之和，T4 为其平方和。AQ 和 BQ 分别为因素 *A* 和 *B* 各水平的平方和，QA 和 QB 为上述两因素相应的变差平方和，AB 为交互效应的变差平方和，QE 为误差效应变差平方和，QT 为总变差平方和。DA 和 DB 为因素 *A* 和 *B* 的自由度，DD 为交互效应自由度。DE 为误差效应自由度，DT 为总自由度。S 为总方差，SA、SB、SS 和 SE 分别为因素 *A*、*B* 交互效应和误差效应的方差。FA、FB、EM 和 FE 为其相应的 *F* 检验统计量，RR 为控制量，其余均为中间变量。子程序 1070 即程序 20.11，子程序 990 用于 *F* 检验。

三、多因素系统分组方差分析

程序 20.21

```
10  PRINT "MULTI-STAGE GROUPING ANALYSIS OF VARIANCE"
20  INPUT "NUMBER OF FACTORS : L=" : 1
30  DIM N(L+1),M(L+2)
40  M(0)=1 : N0=1
50  FOR I=1 TO L
60  PRINT " SIZE OF FACTOR(";I;")";
70  INPUT N(I)
80  N0=N0 * N(I)
90  M(I)=N0
100  D(I)=M(I)-M(I-1)
110  NEXT I
120  INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIAL : N=";N
130  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL : Q=";Q
140  S=N(1) : R=N(2) : W=N(3)
150  DIM T1(S),T3(S,R),T5(S,R,W)
160  PRINT
170  FOR I=1 TO N(1)
180  FOR J=1 TO N(2)
190  IF L=2 THEN 210
200  FOR K=1 TO N(3)
210  FOR R=1 TO N
220  READ X
230  T1=T1+X : T2=T2+X * X
240  T1(I)=T1(I)+X
250  T3(I,J)=T3(I,J)+X
260  IF L=3 THEN T5(I,J,K)=T5(I,J,K)+X
270  NEXT R
```

```
280  IF L=2 THEN 310
290  T(3)=T(3)+T5(I,J,K)^2
300  NEXT K
310  T(2)=T(2)+T3(I,J)^2
320  NEXT J
330  T(1)=T(1)+T1(I)^2
340  NEXT I
350  N0=N0*N
360  T(0)=T1*T1
370  FOR I=1 TO L
380  Q(I)=T(I)*M(I)/N0-T(I-1)/N0*M(I-1)
390  S(I)=Q(I)/D(I)
400  PRINT "Q(";I;")=";Q(I);TAB(18);"D(";I;")=";D(I);TAB(26);"S(";I;")
     =";S(I)
410  NEXT I
420  Q(L+1)=T2-T(L)*M(L)/N0
430  D(L+1)=N0-M(L)
440  S(L+1)=Q(L+1)/D(L+1)
450  PRINT "Q(E)=";Q(L+1);TAB(18);"D(E)=";D(L+1);TAB(26);"S(E)
     =";S(L+1)
460  Q(0)=T2-T(0)/N0 : D(0)=N0-1
470  PRINT "Q(T)=";Q(0);TAB(18);"D(T)=";D(0)
480  VE=S(L+1) : S=VE
490  PRINT
500  R(1)=1 : R(2)=1
510  FOR K=L TO 1 STEP-1
520  F(K)=Q(K)/D(K)/Q(K+1)*D(K+1)
530  F1=D(K) : F2=D(K+1)
540  PRINT "F(";K;")=";F(K)
550  GOSUB 650
560  V(K)=(S(K)-S(L+1)-R(K)*S(K+1)*M(K+1)/N0-R(K+1)*S(K
     +2)*M(K+2)/N0)*M(K)/N0
570  S=S+V(K)
580  PRINT
590  NEXT K
600  FOR K=1 TO L
610  PRINT "V(";K;")=";V(K);TAB(20);INT (V(K)/S*10000+0.5)/100;"%"
620  NEXT K
630  PRINT "V(E)=";VE;TAB(20);INT (VE/S*10000+0.5)/100;"%"
640  END
```

```
650  REM F TEST
660  GOSUB 740
670  IF F(K)>F THEN 710
680  PRINT "FACTOR("K;") NOT SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
690  Q(K)=Q(L+1)+Q(K) : D(K)=D(L+1)+D(K)
700  R0=0 : GOTO,730
710  PRINT "* * FACTOR(";K") IS SIGNIFICANT DIFFERENCE!"
720  R0=1
730  RETURN
740  REM F-DISTRIBUTION VALUE
750  A9=2/9/F1 : B9=2/9/F2
760  GOSUB 960
770  E9=(1-B9) * (1-B9)-B9 * U9 * U9 : P1=3.14159265359
780  IF E9 >0.8 THEN 870
790  P1=3.14159265359 : X9=F1/2
800  GOSUB 1060
810  G1=G9 : X9=F2/2
820  GOSUB 1060
830  G2=G9 : X9=(F1+F2)/2
840  GOSUB 1060
850  F=EXP(2 * (LOG(G9)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1) * LOG
     (F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
860  GOTO 890
870  FF=((1-A9) * (1-B9)+U9 * SQR((1-A9) * (1-A9) * B9+A9 * E9))/
     E9
880  F=FF * FF * FF
890  GOSUB 1160
900  IF D9<1E-20 THEN 940
910  F=F-(P9-1+Q)/D9
920  IF ABS(P9--1+Q)<1E-9 THEN 940
930  GOTO 890
940  PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
950  RETURN
960  IF P<  >0.5 THEN 990
970  U9=0
980  RETURN
990  Y9=-LOG(4 * Q * (1-Q))
1000  Z1 = (((((0.6936233982E - 12 * Y9 + 0.3657763036E - 10) * Y9 -
      0.3231081277E-8) * Y9+0.8360937017E-7) * Y9-0.104527497E-5) *
      Y9+0.5824238515E-5) * Y9
```

```
1010  Z9=(((((Z1+0.6841218299E-5)*Y9-0.2250947176E-3)*Y9-
      0.8364353589E-3)*Y9+0.3706987906E-1)*Y9+1.570796288)*Y9
1020  U9=SQR(Z9)
1030  IF Q<0.5 THEN 1050
1040  U9=-U9
1050  RETURN
1060  IF INT(X9)=X9 THEN 1110
1070  G9=SQR(P1)
1080  IF X9=0.5 THEN 1150
1090  FOR I=0.5 TO X9-1
1100  GOTO 1130
1110  B9=1
1120  FOR I=1 TO X9-1
1130  G9=I*G9
1140  NEXT I
1150  RETURN
1160  M9=F1/2:V9=F2/2
1170  X9=F1*F/(F2+F1*F)
1180  IF INT(M9)=M9 THEN 1270
1190  IF INT(V9)=V9 THEN 1240
1200  LET P9=1-2/P1*ATN(SQR((1-X9)/X9))
1210  U9=SQR(X9*(1-X9))/P1
1220  M1=0.5:V1=0.5
1230  GOTO 1330
1240  P9=SQR(X9):09=P9/2*(1-X9)
1250  M1=0.5:V1=1
1260  GOTO 1330
1270  IF INT(V9)=V9 THEN 1310
1280  P9=1-SQR(1-X9):U9=X9*SQR(1-X9)/2
1290  M1=1:V1=0.5
1300  GOTO 1330
1310  P9=X9:U9=X9*(1-X9)
1320  M1=1:V1=1
1330  IF M9<=1 THEN 1370
1340  FOR I=M1 TO M9-1
1350  P9=P9-U9/I:U9=U9*X9/I*(I+V1)
1360  NEXT I
1370  IF V9<=1 THEN 1410
1380  FOR I=V1 TO V9-1
1390  P9=P9+U9/I:U9=U9*(1-X9)/I*(I+M9)
```

```
1400  NEXT I
1410  D9=U9/F
1420  RETURN
1430  DATA
1440  DATA
```

程序中 L 为因素数，N (I) 为第 I 个因素的水平数，N 为重复测定次数，Q 为显著性水平，上述这些参数在运行时由键盘输入。X 为测试数据，从置数语句中读取。Q (I)、D (I)、S (I) 和 V (I) 为第 I 个因素的变差平方和、自由度，方差估计值和方差。Q (E)、D (E)、S (E) 和 V (E) 为试验误差效应的变差平方和、自由度、方差估计值和方差。Q (T) 和 D (T) 为总变差平方和及自由度、F (K) 为 K 级分组因素的 F 检验统计量，S 为总方差，其余均为中间变量。子程序 650 为 F 检验程序，子程序 740 即程序 20.11，用于计算 F 临界值。

程序 20.21 可用于二因素和三因素系统分组的方差分析，大于三因素的方差分析需要作一些修改。如果分级因素的方差出现负值，说明因素分级不合理。本程序最后给出了各因素的方差及方差组成。

第五节　回归分析法

本节的有关原理及计算公式请参阅第十八章。其计算机程序为程序 20.22 与程序 20.23。

一、一元线性回归分析

程序 20.22

```
10   PRINT "SIMPLE LINEAR REGRESSION"
20   INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30   INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
40   INPUT "NUMBER OF REPEATED TRIAL : R2=";R2
50   DIM X(N);Y(N);Y1(N,R2),Y2(N),R(2,30)
60   GOSUB 770
70   PRINT
80   N0=N * R2 : FE=N0-2
90   C1=0 : C2=0 : C3=0 : C4=0 : C5=0 : C6=0 : C7=0
100   FOR I=1 TO N
110   Y(I)=0 : Y2(I)=0
120   NEXT I
130   FOR I=1 TO N
140   IF R0=1 OR RR=1 THEN 160
150   READ X(I)
160   C1=C1+X(I) : C2=C2+X(I) * X(I)
170   FOR J=1 TO R2
180   IF R0=1 OR RR=1 THEN 200
190   READ Y1(I,J)
200   Y(I)=Y(I)+Y1(I,J) : Y2(I)=Y2(I)+Y1(I,J) * Y1(I,J)
```

```
210  NEXT J
220  C6=C6+Y(I) * Y(I) : C7=C7+Y2(I)
230  Y(I)=Y(I)/R2
240  C3=C3+Y(I) : C4=C4+Y(I) * Y(I)
250  C5=C5+X(I) * Y(I)
260  NEXT I
270  FOR I=1 TO N-1
280  FOR J=I+1 TO N
290  IF X(I)<X(J) THEN 350
300  W=X(I) : X(I)=X(J) : X(J)=W
310  W=Y(I) : Y(I)=Y(J) : Y(J)=W
320  FOR K=1 TO R2
330  W=Y1(I,K) : Y1(I,K)=Y1(J,K) : Y1(J,K)=W
340  NEXT K
350  NEXT J
360  NEXT I
370  L1=C2-C1 * C1/N : L2=C4-C3 * C3/N : L3=C5-C1 * C3/N
380  B=L3/L1 : A=(C3-B * C1)/N
390  F1=N-2 : F2=N * (R2-1)
400  QE=C7-C6/R2 : Q1=R2 * (L2-B * L3)
410  IF R0=1 THEN 590
420  PRINT " * REGRESSION EQUATION : "
430  PRINT TAB(8) : "Y=";A;"+(";B;"X)"
440  PRINT
450  S=SQR((Q1+QE)/(F1+F2))
460  R=L3/SQR(L1 * L2)
470  IF R2=1 THEN S=SQR((L2-B * L3)/FE)
480  PRINT "R=";R,"S=";S
490  PRINT "CRITICAL R(";Q;",";FE;")=";R(H,FE)
500  IF ABS (R)>R(H,FE)THEN 530
510  PRINT " * REGRESSION EQUATION IS NOT SIGNIFICANT!"
520  N=N-1 : RR=1 : GOTO 70
530  PRINT " *  REGRESSION EQUATION IS SIGNIFICANT! N=";N
540  PRINT
550  PRINT " * CONFIDENCE INTERVAL : "
560  PRINT TAB(8);"Y=";A+2 * S;"+(";B;"X)"
570  PRINT TAB(8);"Y=";A-2 * S;"+(";B;"X)"
580  IF  R2=1 THEN 690
590  PRINT
600  F0=(Q1/F1)(QE/F2)
```

```
610  GOSUB 860
620  PRINT "* F0=";F0
630  PRINT "* F(";Q;",";F1;",";F2;")=";F
640  IF F0 < F THEN 670
650  PRINT "*  FITNESS OF SAMPLE(";N;") IS NOT FINE!"
660  N=N-1 : R0=1 : GOTO 80
670  PRINT "* FITNESS OF SAMPLES IS FINE!"
680  PRINT "N=";N
690  PRINT
700  PRINT " INPUT Y TO CALCULATE X OR 9999 TO STOP"
710  INPUT Y
720  IF Y=9999 THEN 750
730  X=(Y-A)/B
740  PRINT "* Y=";Y,"X=";X
750  PRINT"* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
     * * * * * * * * * *"
760  END
770  REM CRITICAL VALUES OF CORRELATION COEFFICIENT"
780  FOR I=1 TO 2
790  FOR J=1 TO 30
800  READ R(I,J)
810  NEXT J
820  NEXT I
830  IF Q=0.05 THEN H=1
840  IF Q=0.01 THEN H=2
850  RETURN
860  REM F-DISTRIBUTION VALUE
870  A0=2/9/F1 : B0=2/9/F2
880  GOSUB 1070
890  E=(1-B0)*(1-B0)-B0*U*U : P1=3.14159265359
900  IF E>0.8 THEN 990
910  PI=3.14159265359 : X=F1/2
920  GOSUB 1170
930  G1=G : X=F2/2
940  GOSUB 1170
950  G2=G : X=(F1+F2)/2
960  GOSUB 1170
970  F=EXP(2*(LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1)*LOG
     (F2)-F2/2*LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
980  GOTO 1010
```

```
990  FF=((1-A0)*(1-B0)+U*SQR((1-A0)*(1-A0)*B0+A0*E))/E
1000 F=FF*FF*FF
1010 GOSUB 1270
1020 IF D<1E 20 THEN 1060
1030 F=F-(P-1+Q)/D
1040 IF ABS(P-1+Q)< 1E-9 THEN 1060
1050 GOTO 1010
1060 RETURN
1070 IF Q <  > 0.5 THEN 1100
1080 U=0
1090 RETURN
1100 Y=-LOG(4*Q*(1-Q))
1110 Z1=(((((0.6936233982E-12*Y+0.3657763036E-10)*Y-0.3231081277
     E - 8) * Y + 0.8360937017E - 7) 1 * Y - 0.104527497E - 5) * Y +
     0.5824238515E-5)*Y
1120 Z = (((((Z1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
     0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
1130 U=SQR(Z)
1140 IF Q<0.5 THEN 1160
1150 U=-U
1160 RETURN
1170 IF INT(X)=X THEN 1220
1180 G=SQR(P1)
1190 IF X=0.5 THEN 1260
1200 FOR I =0.5 TO X -1
1210 GOTO 1240
1220 G=1
1230 FOR I = 1 TO X -1
1240 G = I * G
1250 NEXT I
1260 RETURN
1270 M=F1/2 : V=F2/2
1280 X=F1*F/(F2+F1*F)
1290 IF INT(M)=M THEN 1380
1300 IF INT(V)=V THEN 1350
1310 LET P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X/X))
1320 U=SQR(X*(1-X))/P1
1330 M1=0.5 : V1=0.5
1340 GOTO 1440
1350 P=SQR(X) : U=P/2*(1-X)
```

```
1360  M1=0.5：V1=1
1370  GOTO 1440
1380  IF INT(V)=V THEN 1420
1390  P=1-SQR(1-X)：U=X*SQR(1-X)/2
1400  M1=1：V1=0.5
1410  GOTO 1440
1420  P=X：U=X*(1-X)
1430  M1=1：V1=1
1440  IF M< =1 THEN 1430
1450  FOR I=M1 TO M -1
1460  P=P-U/I：U=U*X/I*(I+V1)
1470  NEXT I
1480  IF V < =1 THEN 1520
1490  FOR I=V1 TO V-1
1500  P=P+U/I：U=U*(1-X)/I*(I+M)
1510  NEXT I
1520  D=U/F
1530  RETURN
1540  DATA
1550  DATA
```

N 为样本容量，Q 为显著性水平，R2 为重复测定次数（无重复测定时 R2=1），上述参数在程序开始运行后用键盘输入。X (I) 为第 I 个自变量，因变量采用二维数组 Y1 (I, J)，L1、L2 和 L3 分别代表 I_{xx}、I_{yy}和 I_{xy}，A 为截距，B 为回归系数，S 为剩余标准差，R 为相关系数。求出回归方程后，首先进行相关性检验，本程序采用相关系数检验法，R (H, FE) 为相关系数临界值，其中 H 相应于显著性水平，FE 为相关系数检验法的自由度。子程序 770 安排了两种显著性水平 (0.01 和 0.05) 和自由度 FE=1—30 共 60 个临界值可供选用，这些临界值放在语句 1540 与 1550。相关性检验如为显著性，说明所拟回归方程是有意义的输入 9999 可终止程序运行。当有重复测定时，进行失拟检验。S 为剩余标准差，F0 为失拟检验的统计量，F1 和 F2 代表失拟检验中的两个自由度。子程序 860 即程序 20.11，用于计算 F 临界值。失拟检验如为显著性的，剔除高浓度的自变量 x 值后，再次进行失拟检验，直至失拟检验无显著性为止。程序中语句 270—360 用于自变量数据按大小顺序排序。如果 X (I) 在读入时已满足排序的要求，可将此段程序删去。

程序中其余变量均为中间变量，自变量数据 X (I) 和因变量数据 Y1 (I, J) 用置数语句放在程序的最后，自变量与因变量数据必须成对地安放。

二、多元线性回归分析

程序 20.23

```
10  PRINT "MULTI-FACTORS LINEAR REGRESSION"
20  INPUT "SIZE OF SAMPLE N=";N
30  INPUT "NUMBER OF VARIABLE M=";M
```

```
40  INPUT "SIGNIFICANT LEVEL Q=";Q
50  DIM A(M+1,N),L(M,2*M),C(M,M),W(M+1),Q(M),B(M),D(M),
    E(M)
60  PRINT
70  FOR I = 0 TO M
80  FOR J = 1 TO N
90  READ A(I,J)
100 NEXT J
110 NEXT I
120 FOR I = 1 TO M
130 C4=0 : C5=0 : C6=0
140 FOR J=1 TO M
150 C1=0 : C2=0 : C3=0
160 FOR K=1 TO N
170 C1=C1+A(I,K) : C2=C2+A(J,K)
180 C3=C3+A(I,K)*A(J,K)
190 NEXT K
200 IF J<I THEN 230
210 L(I,J)=C3-(C1*C2)/N : L(J,I)=L(I,J)
220 IF D1=0 THEN PRINT "L(";I;",";J;")=";L(I,J)
230 NEXT J
240 FOR K=1 TO N
250 C4=C4+A(I,K)*A(0,K)
260 C5=C5+A(0,K) : C6=C6+A(0,K)*A(0,K)
270 NEXT K
280 L(0,I)=C4-(C1*C5)/N
290 IF D1=0 THEN PRINT "L(";0;",";I;")=";L(0,I)
300 NEXT I
310 PRINT
320 FOR I=1 TO M
330 FOR J=M+1 TO 2*M
340 IF I+M=J THEN 360
350 L(I,J)=0 : GOTO 370
360 L(I,J)=1
370 NEXT J : NEXT I
380 FOR I=1 TO M
390 T=L(I,I)
400 FOR J=I TO 2*M
405 IF T=0 THEN 420
410 L(I,J)=L(I,J)/T
```

```
420  NEXT J
430  FOR K=1 TO M
440  IF K-I=0 THEN 490
450  T=L(K,I)
460  FOR J=1 TO 2*M
470  L(K,J)=L(K,J)-T*L(I,J)
480  NEXT J
490  NEXT K
500  NEXT I
510  FOR I=1 TO M
520  FOR J=M+1 TO 2*M
530  C(I,J-M)=L(I,J)
540  IF D1=0 THEN PRINT "C(";I;",";J;")=";C(I,J-M)
550  NEXT J
560  PRINT
570  NEXT I
580  FOR I=1 TO M
590  A=0
600  FOR J=1 TO M
610  A=A+C(I,J)*L(0,J)
620  NEXT J
630  B(I)=INT(A*1000+0.5)/1000
640  PRINT "B";I;"=";B(I);",";
650  NEXT I
660  PRINT
670  FOR I=0 TO M
680  W(I)=0
690  FOR J=1 TO N
700  W(I)=W(I)+A(I,J)
710  NEXT J
720  W(I)=W(I)/N
730  NEXT I
740  C=0
750  FOR I=1 TO M
760  C=C+W(I)*B(I)
770  NEXT I
780  B0=W(0)-C:B0=INT(B0*1000+0.5)/1000
790  PRINT "B0=";B0
800  PRINT
810  PRINT "THE REGRESSION EQUATION:"
```

```
820 PRINT "*Y=";B0;
830 FOR I=1 TO M
840 IF B(I)=0 THEN 870
850 PRINT "+(";B(I):
860 PRINT ")X";I;
870 NEXT I
880 PRINT
890 IF R0=1 THEN 1270
900 PRINT "CHECKING THE REGRESSION EQUATION:"
910 L0=C6-C5*C5/N:F2=N-M-1+D1:U=0:F1=M-D1
920 FOR I=1 TO M
930 U=U+B(I)*L(0,I)
940 NEXT I
950 Q1=LQ-U;F0=U/F1/Q1*F2:F0=INT(F0*1000+0.5)/1000
960 PRINT TAB(3);"F0=";F0;TAB(15);
970 GOSUB 1290
980 IF F0>F THEN 1000
990 PRINT TAB(3);"EQUATION IS NOT SIGNIFICANT!":GOTO 1270
1000 PRINT TAB(3);"REGRESSION EQUATION IS SIGNIFICANT!"
1010 IF F1=1 THEN 1270
1020 PRINT"------------------------------------"
1030 PRINT "OPTIMIZATION OF REGRESSION EQUATION:"
1040 FOR I=1 TO M
1050 Q(I)=B(I)*B(I)/C(I,I)
1060 NEXT I
1070 F1=1:H=0
1080 FOR I=1 TO M
1090 IF Q(I)<  >0 THEN H=H+1:D(H)=Q(I):E(H)=I
1100 NEXT I
1110 A=U(1):G=E(1)
1120 FOR I=2 TO H
1125 IF A<D(I) THEN 1140
1130 A=D(I):G=E(I)
1140 NEXT I
1150 F0=Q(G)/Q1*F2:F0=INT(F0*1000+0.5)/1000
1160 PRINT TAB(3);"F0=";F0;"  ";
1170 GOSUB 1290
1180 IF F0<F THEN 1210
1190 PRINT "OPTIMIZATION EQUATION IS:"
1200 R0=1:GOTO 820
```

```
1210  PRINT TAB(3);"X";G;" IS NOT SIGNIFICANT"
1220  B1=B(G) : B(G)=0
1230  FOR I=1 TO N
1240  A(G,I)=0
1250  NEXT I
1260  D1=D1+1 : GOTO 120
1270  PRINT "* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
      * * * * * * * * * *"
1280  END
1290  REM F-DISTRIBUTION VALUE
1300  A=2/9/F1 : B=2/9/F2
1310  GOSUB 1510
1320  E=(1-B) * (1-B)-B * U * U : P1=3.1415926536
1330  IF E>0.8 THEN 1420
1340  P1=3.1415926536 : X=F1/2
1350  GOSUB 1610
1360  G1=G : X=F2/2
1370  GOSUB 1610
1380  G2=G : X=(F1+F2)/2
1390  GOSUB 1610
1400  F=EXP(2 * (LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1) * LOG
      (F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
1410  GOTO 1440
1420  FF=((1-A) * (1-B)+U * SQR((1-A) * (1-A) * B+A * E))E
1430  F=FF * FF * FF
1440  GOSUB 1710
1450  IF D<1E-20 THEN 1490
1460  F=F-(P-1+Q)/D
1470  IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 1490
1480  GOTO 1440
1490  PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
1500  RETURN
1510  IF Q<  >0.5 THEN 1540
1520  U=0
1530  RETURN
1540  Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
1550  Z1=(((((0.6936233982E-12 * Y+0.3657763036E-10) * Y-0.3231081277E
      -8) * Y+0.8360937017E-7) * Y-0.104527497E-5) * Y+0.5824238515E
      -5) * Y
1560  Z = (((((Z1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
```

```
        0.8364353589E-3)*Y+0.3706987906E-1)*Y+1.570796288)*Y
1570  U=SQR(Z)
1580  IF Q<0.5 THEN 1600
1590  U=-U
1600  RETURN
1610  IF INT(X)=X THEN 1660
1620  G=SQR(P1)
1630  IF X=0.5 THEN 1700
1640  FOR I=0.5 TO X-1
1650  GOTO 1680
1660  G=I
1670  FOR I=1 TO X-1
1680  G=I*G
1690  NEXT I
1700  RETURN
1710  M0=F1/2:V=F2/2
1720  X=F1*F/(F2+F1*F)
1730  IF INT (M0)=M0 THEN 1820
1740  IF INT (V)=V THEN 1790
1750  P=1-2/P1*ATN(SQR((1-X)/X))
1760  U=SQR(X*(1-X))/P1
1770  M1=0.5:V1=0.5
1780  GOTO 1880
1790  P=SQR(X):U=P/2*(1-X)
1800  M1=0.5:V1=1
1810  GOTO 1880
1820  IF INT(V)=V THEN 1860
1830  P=1-SQR(1-X):U=X*SQR(1-X)/2
1840  N1=1:V1=0.5
1850  GOTO 1880
1860  P=X:U=X*(1-X)
1870  M1=1:V1=1
1880  IF M0<=1 THEN 1920
1890  FOR I=M1 TO M0 1
1900  P=F-U/I:U=U*X/I*(I+V1)
1910  NEXT I
1920  IF V<=1 THEN 1960
1930  FOR I=V1 TO V-1
1940  P=P+U/IU=U*(1-X)/I*(I+M0)
1950  NEXT I
```

```
1960  D=U/F
1970  RETURN
1980  DATA
```

样本容量N、因素数M和显著性水平Q在程序开始运行后用键盘输入。数组A（M+1，M）存放回归分析计算的数据，数组L（M，2M）存放正则方程组的系数和单位矩阵C（I，J）为L（I，J）的逆矩阵元，W（I）为第I次试验结果和I个因素的平均值，Q（I）为第I个因素的偏回归平方和。B0为回归方程常数项，B（I）为第I个因素的回归系数，其余为中间变量。子程序1290即程序20.11，用于计算F临界值。计算用的全部数据用置数语句放在程序的最后。

第六节　正交试验设计及数据处理

有关正交试验设计原理及数据处理中的计算公式请参阅第十九章第一节。其程序见程序20.24。

程序20.24

```
10  PRINT "* * ORTHOGONAL DESIGN * *"
20  PRINT"--------------------------------------"
30  PRINT "IF READ DATA OF MEASURE RESULT THEN"
40  PRINT "LIST 4550—5650,CORRECT!"
50  INPUT "SIGNIFICENT LEVEL Q0=";Q0
60  INPUT "SIZE OF FACTORS Q=";Q
70  INPUT "REPEATED NUMBER N0=";N0
80  IF N0>1 THEN 110
90  N0=1 : PRINT " ERROR FACTOR B1="; : INPUT B1
100  IF B1=0 THEN 1190
110  INPUT " NUMBER OF TEST M=";M
120  DIM N(M),V(Q),B(M,M),K(M,M),C(M,M),T(M),Z(M)
130  DIM S(M),E(Q),B$(75),A(M,N0),M(Q),F(Q),D(M,M)
140  PRINT "IF THE TABLE IS MIXING,LET T=-1."
150  INPUT "LEVEL SIZE OF FACTOR T=";T
160  IF T>-1 THEN 380
170  GOSUB 2750
180  GOTO 390
190  PRINT
200  PPINT "INPUT YOUR ORTHOGONAL TABLE"
210  FOR I=1 TO Q
220  PRINT "LEVEL SIZE OF FACTOR N(";I;")";
230  INPUT N(I)
240  NEXT I
250  INPUT "INPUT OR READ ORTHOGONAL TABLE (I/R)?";H$
260  IF H$ ="I" THEN 320
```

```
270  FOR I=1 TO Q
280  FOR J=1 TO M
290  READ B(J,I)
300  NEXT J,I
310  PRINT : GOTO 390
320  FOR I=1 TO Q
330  FOR J=1 TO M
340  PRINT "LEVEL OF FACTOR B(";J";",";I;")=";: INPUT B(J,I)
350  NEXT J
360  NEXT I
370  GOTO 390
380  GOSUB 1220
390  GOSUB 3400 : W=0 : P=0 : K=0 : PRINT
400  INPUT "INPUT OR READ DATA OF MEASURE RESULT (I/R)?";H$
410  IF H$<  >"I" THEN 430
420  GOSUB 3240 : GOSUB 3540 : GOTO 510
430  INPUT "WRITE YOUR DATA IN 4550-4650(Y/N)?";H$ : IF H$="N"
     THEN 1210
440  FOR I=1 TO M : Z(I)=0
450  FOR J=1 TO N0
460  READ A : A(I,J)=A
470  W=W+A*A : P=P+A
480  Z(I)=Z(I)+A
490  NEXT J
500  NEXT I : GOSUB 3540
510  P=P*P/(M*N0)
520  FOR I=1 TO Q : V(I)=0
530  FOR S=1 TO N(I) : K(I,S)=0
540  FOR J=1 TO M
550  IF B(J,I)<  >S THEN 570
560  K(I,S)=K(I,S)+Z(J)
570  NEXT J
580  PRINT "K(";I;",";S;")=";K(I,S)
590  V(I)=V(I)+K(I,S)*K(I,S)
600  NEXT S
610  PRINT
620  V(I)=V(I)*N(I)/(M*N0)
630  NEXT I
640  S=W-P : EE=M*N0-1 : S0=S : E0=EE : S(B1)=0
650  FOR I=1 TO Q
```

```
660  IF I=B1 THEN 680
670  S(I)=V(I)-P : E(I)=N(I)-1 : S0=S0  S(I) : E0=E0-E(I)
680  NEXT I
690  FOR I=1 TO Q
700  IF I=B1 THEN 730
710  IF S(I)/E(I)>S0/E0 THEN 730
720  S0=S0+S(I) : E0=E0+E(I) : E(I)=0
730  NEXT I
740  M0=S0/E0 : M0=INT(M0 * 100+0.5)/100
750  FOR I=1 TO Q
760  IF E(I)<1 THEN 980
770  M(I)=S(I)/E(I) : F(I)=M(I)/M0
780  F(I)=INT(F(I) * 100+0.5)/100 : M(I)=INT(M(I) * 100+0.5)/100
790  LET W=Q
800  Q=Q0 : F1=E(I) : F2=E0 : GOSUB 3740 : Q=W
810  V(I)=F0
820  IF F(I)>F0 THEN 850
830  A$(I)="-"
840  GOTO 860
850  A$(I)="*"
860  FOR J=1 TO N(I)
870  Z(J)=K(I,J)
880  NEXT J
890  FOR J=2 TO N(I)
900  IF Z(1)>Z(J) THEN 920
910  T=Z(1) : Z(1)=Z(J) : Z(J)=T
920  NEXT J
930  FOR J=1 TO N(I)
940  IF K(I,J)<Z(1) THEN 970
950  Y(I)=C(J,I)
960  GOTO 980
970  NEXT J
980  NEXT I
990  PRINT
1000  PRINT "*  TABLE OF VARIANCE ANALYSIS  *"
1010  B$="------------------------------------"
1020  PRINT B$
1030  PRINT "FACTOR S(I)      E(I)      M(I)      F(I)"
1040  PRINT B$
1050  FOR I=1 TO Q
```

```
1060  IF I=B1 THEN 1130
1070  PRINT"Q(";I;")";TAB(6);S(I);
1080  IF E(I)<1 THEN 1110
1090  PRINT TAB(21);E(I);TAB(24);M(I);TAB(35);F(I);
1100  PRINT TAB(43);A$(I);" ";Y(I) : GOTO 1120
1110  PRINT TAB(43);"--"
1120  PRINT B$
1130  NEXT I
1140  PRINT "Q0";TAB(6);S0;TAB(20);E0;
1150  PRINT TAB(24) : M0
1160  PRINT B$
1170  PRINT "SUM";TAB(6);S;TAB(20);EE
1180  PRINT B$ : GOTO 1210
1190 PRINT "INCREASE REPEATED NUMBER OR DECREASE SIZE OF FAC-
     TOR!" : GOTO 1210
1200  PRINT "FACTORS ARE TOO MORE! DESIGN AGAIN!"
1210  END
1220  REM MAKE NORMAL ORTHOGONAL TABLE
1230  FOR I=1 TO M
1240  N(I)=T
1250  NEXT I
1260  IF T<  >2 THEN 1940
1270  S=2
1280  FOR N=1 TO M : S=S*2 : IF M>S THEN 1310
1290  IF M<S THEN 190
1300  GOTO 1320
1310  NEXT N
1320  K=2 : C(1,1)=1 : C(1,2)=1 : C(2,1)=1 : C(2,2)=-1
1330  S=K*0.2
1340  FOR I=K+1 TO S
1350  FOR J=1 TO K
1360  C(I,J)=C(I-K,J)
1370  NEXT J,I
1380  FOR I=1 TO K
1390  FOR J=K+1 TO S
1400  C(I,J)=C(I,J-K)
1410  NEXT J,I
1420  FOR I=K+1 TO S
1430  FOR J=K+1 TO S
1440  C(I,J)=C(I-K,J-K)*(-1)
```

```
1450  NEXT J,I
1460  K=K * 2
1470  IF M>S THEN 1330
1480  FOR J=2 TO M : K=0 : FOR I=1 TO M/2
1490  IF C(I,J)<1 THEN 1520
1500  K=K+1
1510  NEXT I
1520  S(J)=K : NEXT J
1530  FOR I=2 TO M : C=S(2) : B=2
1540  FOR J=3 TO M : IF C>=S(J)  THEN 1560
1550  C=S(J) : B=J
1560  NEXT J
1570  S(B)=0 : T(I)=B
1580  NEXT I
1590  FOR J=2 TO M
1600  FOR I=1 TO M
1610  B=T(J)
1620  IF C(I,B)<1 THEN 1650
1630  B(I,J-1)=1
1640  GOTO 1660
1650  B(I,J-1)=2
1660  NEXT I,J
1670  FOR J=1 TO M-1 : K=0
1680  FOR I=1 TO M/2
1690  IF B(I,J)>1 THEN 1720
1700  K=K+1
1710  NEXT I
1720  S(J)=K
1730  NEXT J
1740  K=0
1750  FOR J=1 TO M-2 : P=J+1
1760  IF S(J)>S(P) THEN 1850
1770  FOR I=S(J)+1 TO M
1780  IF B(I,J)>B(I,P) THEN 1820
1790  IF B(I,J)<B(I,P) THEN 1850
1800  NEXT I
1810  GOTO 1850
1820  FOR B=1 TO M
1830  C=B(B,J) : B(B,I)=B(B,P) : B(B,P)=C
1840  NEXT B : K=K+1
```

```
1850  NEXT J
1860  IF K>C THEN 1740
1870  IF T2=-1 THEN 1930
1880  FOR I=1 TO M
1890  FOR J=1 TO M-1
1900  PRINT B(I,J);"   ";
1910  NEXT J : PRINT
1920  NEXT I
1930  GOTO 2740
1940  IF ABS(T-SQR(M))>0.0001 THEN 190
1950  FOR N=1 TO T
1960  IF T<  >2*(N+1) THEN 1980
1970  GOTO 2330
1980  IF T<  >2*N+1 THEN 2000
1990  GOTO 2010
2000  NEXT N
2010  FOR J=1 TO T
2020  C(1,J)=J
2030  NEXT
2040  FOR K=0 TO T-1
2050  FOR I=2 TO T
2060  C(I,1)=C(I-1,1)+K
2070  IF C(I,1)<=T THEN 2090
2080  C(I,1)=C(I,1)-T
2090  NEXT
2100  FOR I=2 TO T
2110  FOR J=2 TO T
2120  C(I,J)=C(I,J-1)+1
2130  IF C(I,J)<=T THEN 2150
2140  C(I,J)=C(I,J)-T
2150  NEXT J
2160  NEXT I
2170  P=1
2180  FOR I=1 TO T
2190  FOR J=1 TO T
2200  B(P,K+2)=C(I,J)
2210  P=P+1
2220  NEXT J
2230  NEXT I
2240  NEXT K
```

```
2250  J=1 : K=0
2260  FOR I=1 TO M
2270  B(I,1)=J
2280  K=K+1
2290  IF K<T THEN 2310
2300  J=J+1 : K=0
2310  NEXT I
2320  GOTO 2740
2330  FOR J=1 TO T
2340  C(1,J)=J : C(J,J)=T;
2350  NEXT J
2360  IF T=4 THEN 2450
2370  IF T=8 THEN 2390
2380  GOTO 190
2390  C(2,3)=5 : C(2,4)=8 : C(2,5)=3 : C(2,6)=7 : C(2,7)=6 : C(2,8)=4
2400  C(3,4)=6 : C(3,5)=3 : C(3,6)=4 : C(3,7)=8 : C(3,8)=7
2410  C(4,5)=7 : C(4,6)=3 : C(4,7)=5 : C(4,8)=2
2420  C(5,6)=8 : C(5,7)=4 : C(5,8)=6
2430  C(6,7)=2 : C(6,8)=5 : C(7,8)=3
2440  GOTO 2460
2450  C(2,3)=4 : C(2,4)=3 : C(3,4)=2
2460  FOR I=2 TO T
2470  FOR J=1 TO I-1
2480  C(I,J)=C(J,I)
2490  NEXT J
2500  NEXT I
2510  P=1
2520  FOR I=1 TO T : FOR J=1 TO T
2530  B(P,1)=I : B(P,2)=J : B(P,3)=C(I,J)
2540  P=P+1
2550  NEXT J : NEXT I
2560  FOR K=4 TO T+1
2570  FOR J=1 TO T
2580  S(J)=C(2,J)
2590  NEXT
2600  FOR I=2 TO T-1
2610  FOR J=1 TO T
2620  C(I,J)=C(I+1,J)
2630  NEXT,J,I
2640  FOR J=1 TO T
```

```
2650  C(T,J)=S(J)
2660  NEXT
2670  P=1
2680  FOR I=1 TO T : FOR J=1 TO T
2690  B(P,K)=C(I,J)
2700  P=P+1
2710  NEXT J,I
2720  NEXT K
2730  PRINT
2740  RETURN
2750  REM MIX ORTHOGONAL TABLE.
2760  IF M=8 THEN 2790
2770  IF M=16 THEN 2880
2780  GOTO 190
2790  LET T1=4 : Q1=1 : T2=2 : T=T2 : T2=-1 : GOSUB 1230
2800  FOR J=2 TO 8 STEP 2
2810  B(J,1)=J/2 : B(J-1,1)=J/2
2820  NEXT J : N(1)=T1
2830  FOR J=2 TO Q : N(J)=2
2840  FOR I=1 TO 8
2850  B(I,J)=B(I,J+2)
2860  NEXT I : NEXT J
2870  GOTO 2740
2880  INPUT "SIZE OF MAIN FACTORS Q1=";Q1
2890  T1=4 : T2=2
2900  LET T=2 : T2=-1 : GOSUB 1230
2910  IF Q1>1 THEN 2970
2920  FOR J=1 TO M
2930  FOR I=2 TO Q
2940  K(J,I)=B(J,2+I)
2950  NEXT I : NEXT J
2960  GOTO 3180
2970  IF Q1>2 THEN 3100
2980  FOR J=1 TO M
2990  FOR I=3 TO 5
3000  K(J,I)=B(J,2+I)
3010  NEXT
3020  FOR I=6 TO 8
3030  K(J,I)=B(J,3+I)
3040  NEXT
```

```
3050  FOR I=9 TO 11
3060  K(J,I)=B(J,4+I)
3070  NEXT
3080  NEXT J
3090  GOTO 3180
3100  IF Q1>3 THEN 3150
3110  FOR J=1 TO M
3120  K(J,4)=B(J,6) : K(J,5)=B(J,7) : K(J,6)=B(J,9) : K(J,7)=B(J,11) :
      K(J,8)=B(J,13) : K(J,9)=B(J,14)
3130  NEXT
3140  GOTO 3180
3150  FOR J=1 TO 16
3160  K(J,5)=B(J,6) : K(J,6)=B(J,11) : K(J,7)=B(J,13)
3170  NEXT
3180  T=T1 : GOSUB 1230
3190  FOR I=Q1+1 TO Q : N(I)=2
3200  FOR J=1 TO M
3210  B(J,I)=K(J,I)
3220  NEXT J : NEXT I : FOR I=1 TO Q1 : N(I)=T1 : NEXT
3230  GOTO 2740
3240  FOR I=1 TO M : Z(I)=Φ
3250  FOR J=1 TO N0
3260  PRINT "DATA OF MEASURE RESULT A"(";I;",";J;")=";
3270  INPUT A : A(I,J)=A
3280  W=W+A*A : P=P+A
3290  Z(I)=Z(I)+A
3300  NEXT J
3310  NEXT I
3320  FOR I=1 TO M
3330  FOR J=1 TO N0
3340  PRINT A(I,J);",";
3350  NEXT
3360  PRINT;NEXT I
3370  INPUT "IS THERE ANY MISTAKE IN YOUR DATA (Y/N)?";B$
3380  IF B$<  >"N" THEN 3240
3390  RETURN
3400  REM INPUT DATA
3410  PRINT "INPUT LEVEL OF FACTORS!"
3420  FOR I=1 TO Q
3430  FOR J=1 TO N(I)
```

```
3440  IF I=B1 THEN 3460
3450  PRINT "LEVEL";J;"OF FACTOR";I;"="; : INPUT C(J,I)
3460  NEXT J : NEXT I
3470  FOR J=1 TO M : D(J,0)=J : NEXT
3480  FOR I=1 TO Q
3490  IF I<  >B1 THEN 3510
3500  FOR J=1 TO M : D(J,I)=B(J,I) : NEXT J : GOTO 3530
3510  FOR J=1 TO M : T=B(J,I) : D(J,I)=C(T,I)
3520  NEXT J
3530  NEXT I : RETURN
3540  B$="------"
3550  PRINT
3560  PRINT "EXPERIMENT CONDITION TABLE"
3570  FOR I=1 TO Q+N0 : PRINT B$ ;
3580  NEXT I : PRINT
3590  FOR I=1 TO Q : PRINT "Q(";I : ")";
3600  NEXT : PRINT "RESULT"
3610  FOR J=1 TO M
3620  FOR I=1 TO Q+N0 : PRINT B$ ;
3630  NEXT I : PRINT : A=-3
3640  FOR I=1 TO Q
3650  A=A+5 : PRINT TAB(A);D(J,I);
3660  NEXT I : FOR I=1 TO N0 : A=A+5 : PRINT TAB(A);A(J,I);"   ";
3665  NEXT I : PRINT
3670  NEXT J
3680  FOR I=1 TO Q+N0 : PRINT B$ ;
3690  NEXT I : PRINT
3700  INPUT "IS THERE ANY MISTAKE IN YOUR TABLE (Y/N) ?";B$
3710  IF B$<  >"Y" THEN 3730
3720  GOTO 3400
3730  RETURN
3740  REM   RANDOM VARIABLE OF F-DISTRIBUTION
3750  A=2/9/F1 : B=2/9/F2
3760  GOSUB 3970
3770  E=(1-B)*(1-B)-B*U*U : P1=3.14159265359
3780  IF E>0.8 THEN 3870
3790  P1=3.14159265359 : X1=F1/2
3800  GOSUB 4070
3810  G1=G : X1=F2/2
3820  GOSUB 4070
```

```
3830 G2=G : X1=(F1+F2)/2
3840 GOSUB 4070
3850 F=EXP(2 * (LOG(G)-LOG(G1)-LOG(G2)+LOG(2)+(F2/2-1) * LOG
     (F2)-F2/2 * LOG(F1)-LOG(Q))/F2)
3860 GOTO 3890
3870 FF=((1-A) * (1-B)+U * SQR((1-A) * (1-A) * B+A * E))/E
3880 F=FF * FF * FF
3890 GOSUB 4170
3900 IF D<1E-20 THEN 3950
3910 F=F-(P-1+Q)/D
3920 IF ABS(P-1+Q)<1E-9 THEN 3940
3930 GOTO 3890
3940 F=INT(F * 100+0.5)/100
3950 PRINT "F-";Q;"(";F1;",";F2;")=";F
3960 F0=F : RETURN
3970 IF Q<  >0.5 THEN 4000
3980 U=0
3990 RETURN
4000 Y=-LOG(4 * Q * (1-Q))
4010 O1=(((((0.6936233982E-12 * Y+0.3657763036E-10) * Y-0.3231081277
     E - 8) * Y + 0.8360937017E - 7) * Y - 0.104527497E - 5) * Y +
     0.5824238515E-5) * Y
4020  Z = (((((O1 + 0.6841218299E - 5) * Y - 0.2250947176E - 3) * Y -
      0.8364353589E-3) * Y+0.3706987906E-1) * Y+1.570796288) * Y
4030 U=SQR(Z)
4040 IF Q< 0.5 THEN 4060
4050 U=-U
4060 RETURN
4070 IF INT(X1)=X1 THEN 4120
4080 G=SQR(P1)
4090 IF X1=0.5 THEN 4160
4100 FOR K=0.5 TO X1-1
4110 GOTO 4140
4120 G=1
4130 FOR K=1 TO X1-1
4140 G=K * G
4150 NEXT K
4160 RETURN
4170 M=F1/2 : V=F2/2
4180 X1=F1 * F/(F2+F1 * F)
```

```
4190  IF INT(M)=M THEN 4280
4200  IF INT(V)=V THEN 4250
4210  P=1-2/P1 * ATN(SQR((1-X1)/X1))
4220  U=SQR(X1 * (1-X1))/P1
4230  M1=0.5 : V1=0.5
4240  GOTO 4340
4250  P=SQR(X1) : U=P/2 * (1-X1)
4260  M1=0.5 : V1=1
4270  GOTO 4340
4280  IF INT(V)=V THEN 4320
4290  P=1-SQR(1-X1) : U=X1 * SQR(1-X1)/2
4300  M1=1 : V1=0.5
4310  GOTO 4340
4320  P=X1 : U=X1 * (1-X1)
4330  M1=1 : V1=1
4340  IF M<=1 THEN 4380
4350  FOR K=M1 TO M-1
4360  P=P-U/K : U=U * X1/K * (K+V1)
4370  NEXT K
4380  IF V<=1 THEN 4420
4390  FOR K=V1 TO V-1
4400  P=P+U/K : U=U * (1-X1)/K * (K+M)
4410  NEXT K
4420  D=U/F
4430  RETURN
4440  DATA
4450  DATA
```

本程序分为四个部分：

1. 各种参数的输入

语句 30 和 40 要用户将试验数据输入 4440～4540 的 DATA 语句中。50 句输入 F 检验的显著性水平，60 句输入因素个数 Q，70 句输入试验条件相同情况下重复测定次数 N0，重复测定次数为 2 时，须输入误差因素列序数 B1，110 句输入试验次数 M，150 句输入因素水平个数 T。如使用普通正交表，T 输入实际值，如用混合水平表，T 输入－1。

2. 构造正交表

语句 120～380 是构造正交表的主程序。如是普通正交表，T>－1，由 380 句转入造表子程序 1220，其中 1260～1920 构造二水平表，如 L_4 (2^3)、L_8 (2^7)、L_{20} (2^{19}) 等。语句 1940～2720 构造 T=$\sqrt{M}$的正交表，当 T 为素数时，将由语句 1980～2310 造表；当 T 为 4、8 等偶数时，由语句 2330～2720 造表。如果 T=－1，则构造混合正交表，由语句 170 转入造混合表子程序 2750。本程序只能构造 L_8 (4×2^4)、L_{16} (4×2^{12})、L_{16} ($4^2\times2^9$)、L_{16} ($4^3\times2^3$)、L_{16} (8×2^8) 等混合表。其余混合表如 L_{18} (2×3^2)、L_{18} ($6^1\times3^6$) 和普通表 L_{27} (3^{13}) 等，需用户

使用语句 200～300 自行输入。先输入各因素的水平个数 *N*（*I*），再输入各因素的具体水平代码 B（J，I）其中 J 表示行号，即试验序号，*I* 表示列号，即因素号。同一因素的水平代码顺序输完后，再输入另一列。

3. 输入正交表表头，安排试验方案

为安排试验方案，须将具体水平值输入，语句 390 转入正交表表头子程序 3400。先将同一因素的各水平值顺序输入，然后输入另一因素的水平值。全部数据输完后，打印出试验安排表。按此表作试验取得数据后，转入试验结果输入程序 400～500。试验结果的输入可采用随机输入或预先输入后由计算机读取两种方式。语句 400 用于选择输入方式，键入 I，则用 INPUT 语句输入，键入 R，计算机将询问用户是否已将数据输入 4440～4540 的 DATA 语句中。若键入 N，则停止执行程序，用户将数据写入后再重新运行。

4. 方差分析

语句 510～1210 是方差分析程序。W 是各数据的平方和，P 为各数据和的平方，Z（J）为各序号下重复试验数据和。程序将水平代码相同的数据加和，求出某一因素（I）相同水平（S）的数据和 K（I，S）及其平方和 V（I），用式（19—2）和（19—3）计算总差方和 S、总自由度 E、各因素差方和 S（I）及自由度 E（I）。

为了提高方差分析检验的灵敏度，语句 720 将比试验误差小的因素平方和与误差平方和合并，它们的自由度也合并，再计算合并后的均方差 M0，然后用 M0 去检验。

语句 770 计算各因素的均方差 M（I）和 F（I）值，语句 820 将 F（I）值与临界值 F0 比较，临界值用子程序 3740（即程序 20.10 计算。如果 F（I）＞F0，打印“＊”；若 F（I）＜F0，则打印“—”。然后用语句 860～990 寻找因素的最佳水平，各因素均检验完后，由语句 1000～1180 打印方差分析表。

主要参考文献（第五篇）

1. 浙江大学数学系数学教研组编．概率论与数理统计．北京：人民教育出版社，1980.
2. 邓勃编著．分析测试数据的统计处理方法．北京：清华大学出版社，1995.
3. 郑用熙编著．分析化学中的数理统计方法．北京：科学出版社，1986.
4. 牛长山、徐通模编．试验设计与数据处理．西安：西安交通大学出版社，1988.
5. 中国科学院数学研究所统计组．方差分析．北京：科学出版社，1977.
6. 秦建侯、邓勃、王小芹编著．分析测试数据统计处理中的计算机中的计算机的应用．北京：化学工业出版社，1990.
7. 毛宗秀编著．BASIC 语言常用数理统计方法程序汇编．杭州：浙江科学技术出版社，1983.

索　引

三画

四画

五画

六画

七画

八画

九画

十画

十一画

十二画以上

其他

（京）新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

分析化学手册　第一分册：基础知识与安全知识/杭州大学化学系分析化学教研室编．-2 版．-北京：化学工业出版社，1997 年

ISBN 7-5025-1741-3

Ⅰ．分…　Ⅱ．杭…　Ⅲ．分析化学-手册　Ⅳ．065-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（96）第 10738 号

分析化学手册

（第二版）

第一分册

杭州大学化学系分析化学教研室　编

责任编辑：任惠敏

责任校对：李　丽

封面设计：于　兵

化学工业出版社出版发行

（北京市朝阳区惠新里 3 号　邮政编码 100029）

新华书店北京发行所经销

北京市燕山联营印刷厂印刷

三河前程装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16　印张 46 1/4　字数 1168 千字

1997 年 1 月第 2 版　　1997 年 1 月北京第 1 次印刷

印　数：1—3000

ISBN 7-5025-1741-3/TQ・915

定　价：75.00 元
